

**“Estrategias y tendencias del aprovechamiento de la pulpa y mucilago del café en
Colombia”
Monografía**

Paula Daniela Castellanos Rodríguez.

Asesora

MSc. Alejandra María Peña Beltrán

Universidad Nacional Abierta y A Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA.

Programa Agronomía

La Plata Huila

2020

Índice

	Pág.
Introducción.....	5
Justificación.....	8
Definición del problema.....	10
Objetivos.....	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos.....	11
Marco teórico y conceptual.....	12
Marco teórico.....	12
Marco conceptual.....	20
Métodos y procedimientos para la transformación de los residuos (la pulpa y el mucilago) en productos valorizado.....	22
Producción de abono orgánico.....	23
Compostaje.....	25
Proceso de compostaje.....	26
Modelos de compostaje.....	28
La fosa- Procesador de materia orgánica.....	35
El lombricultivo.....	36
Vermicompostaje de la pulpa de café.....	39
Secado de la pulpa.....	41
Producción de briquetas y pellets para la generación de calor.....	41
Alimentación de animales.....	42
Ensilaje de la pulpa.....	42
Obtención de fenoles.....	43
Proceso para la obtención de miel a partir del mucilago del café.....	44
Cafeína.....	45

Hongos.....	45
Unicelular.....	47
Pectina.....	47
Bacterias Base de pulpa y el dulce de la cereza del café.....	48
Biocombustibles.....	49
Producción de biogás.....	50
Variables del proceso de digestión anaerobia.....	52
Producción de bioetanol.....	54
Bebida fermentada.....	69
Productos resultantes de los residuos (pulpa y mucilago) de la poscosecha del café.....	72
Aplicación directa.....	72
Abono orgánico.....	75
Características del abono orgánico.....	75
Compost.....	76
Fosas.....	77
El lombricultivo.....	78
Bacterias Base de pulpa y el dulce de la cereza del café.....	83
Producción de hongos comestibles y medicinales.....	83
Pectinas realizadas con la pulpa y el mucilago de café.....	84
Producción de gránulos y briquetas.....	85
Infusiones.....	85
Antioxidantes.....	86
Cafeína.....	87
Reutilización.....	87
Ensilaje de la pulpa.....	88
Alimentación para los animales.....	89

Producción de biocombustibles a partir de los subproductos del café.....	90
Etanol.....	91
Biogás.....	92
Beneficios económicos, sociales y ambientales del aprovechamiento de los residuos de poscosecha del café.....	94
Resultados.....	103
Conclusiones y recomendaciones.....	104
Conclusiones.....	104
Recomendaciones.....	105
Referencias.....	107
Anexos.....	114

Introducción

El café es uno de los productos más cultivados e importantes para el desarrollo y crecimiento de la agricultura; sin embargo trae consigo una problemática ambiental generada por el inadecuado aprovechamiento de los residuos (pulpa y mucilago), del café resultante en el beneficio de éste. Colombia tiene la producción de café como una actividad de desarrollo económico, debido a que la ubicación y las características del clima y suelo favorecen dicha actividad. Actualmente la gran obtención de los residuos derivados de esta actividad económica está generando problemas ambientales en las zonas productoras ya que no tienen las estrategias definidas para el aprovechamiento y tratamiento de los residuos resultantes.

Durante la producción del café resulta una gran cantidad de residuos, los cuales los caficultores los desaprovechan y los arrojan al suelo sin tratamiento. En las regiones cafeteras del país se aprovecha un bajo porcentaje del grano para la bebida el resto corresponden a los desechos que son muy pocos utilizados por los productores por la falta de conocimientos acerca de la transformación y obtención de productos valorizados.

Castillo et al. (2018) aseguran que de esta forma el actual aprovechamiento y disposición que se está proporcionando sobre el alto volumen del material residual del proceso está generando impactos negativos en la calidad de las fuentes de agua y suelos fértiles; lo que representa la existencia de una agricultura insostenible

El material producido en el proceso del beneficio del fruto del café (pulpa y mucílago) al no disponerse de forma apropiada, se convierte en una gran contaminación de los recursos naturales que hay en la zona cafetera del país. (Rodríguez et al., 2013).

La gran cantidad de los residuos constituyen un problema ambiental, ya que en la gran mayoría de productores de café vierte a las fuentes hídricas o se dejan descomponer sobre el suelo sin ningún tratamiento o aprovechamiento, lo cual produce problemas en los suelos o contaminación.

Rodríguez et al. (2013) aseguran que la actividad agrícola del cultivo de café contribuye a cambiar directamente la oferta hídrica de una zona, cuando vierte directamente las aguas residuales del proceso productivo a las fuentes de agua, o indirectamente a través de las emisiones de gases con efecto invernadero (Básicamente óxidos de carbono, nitrógeno y metano), provenientes de la descomposición aeróbica o anaeróbica de la materia orgánica constitutiva de los residuos de la cosecha. Además la pulpa de café es derramada a las fuentes hídricas o se disponen a campo abierto para que se descomponga de manera natural, lo cual genera cambios drásticos y negativos en las propiedades químicas y físicas del suelo y de las aguas, por lo tanto se convierte en un potencial contaminante, por lo que es necesario la valorización de los subproductos del café, logrando una transformación para elaboración de productos beneficiosos y eficientes para la agricultura .

A pesar de que en Colombia hay estudios y numerosas prácticas para el uso y aprovechamiento del mucílago y pulpa de café existen productores que no se aprovecha este subproducto del beneficio del café (Sarasty, 2012).

Armas et al. (2008) afirman que:

“Una de las alternativas es el aprovechamiento de los subproductos que son generados en el proceso de beneficiado de café, como materia prima para fabricar otros productos, con lo cual se aportaría valor agregado al sector y otros beneficios adicionales a la sociedad, entre los cuales destaca la disminución de la contaminación ambiental generada por dichos subproductos”.

Por eso con este trabajo se busca identificar las estrategias de aprovechamientos de los residuos del beneficio del café en Colombia. Este tema a tratar en la investigación es importante para contribuir a mejorar el sector cafetero del país, y evitar daños irreparables en el medio ambiente por la contaminación de estos desechos. En el desarrollo de la investigación bibliográfica se caracteriza los procedimientos para la transformación de los residuos en productos valorizados a través de tecnologías para que sean adaptadas a los pequeños, medianos y grandes productores para el manejo de las pulpas y los mucilagos que contaminan los suelos y las aguas. Al realizar un buen aprovechamiento de los residuos es una opción de negocio que favorece a los caficultores obteniendo mayores ganancias y conservando los ecosistemas.

Justificación

El proceso de beneficio del café, se realiza por vía húmeda para obtener café de excelente calidad; los residuos generados en la poscosecha del café (pulpa y mucilago) son removidos durante las etapas de despulpado y lavado. Como afirma Rodríguez, Zambrano y Ramírez (2013) que la pulpa de café se genera durante la etapa del despulpado del fruto y representa, en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco. Su producción media es de 2,25 toneladas frescas/ha-año y se constituye en el principal subproducto del proceso de beneficio. El mucilago de café se genera en la etapa del desmucilaginado, y en base húmeda representa alrededor del 14,85% del peso del fruto fresco. Su producción media es de 768 kg/ha-año.

Por lo tanto los residuos arrojados son considerables, para lograr un buen aprovechamiento y beneficios para los cultivos y los productores. El inadecuado tratamiento, aprovechamiento y/o disposición final de los residuos resultantes en el beneficio del café provoca daños en el ecosistema, por ello es necesario investigar acerca de cómo beneficiarse de los residuos con los diferentes usos. El aprovechamiento de los subproductos del beneficio son un ingreso adicional para los caficultores, mejorando e incrementando la producción.

Debido a la gran cantidad de residuos que se obtiene en la fase de poscosecha y el poco aprovechamiento que se tiene por los productores es necesario conocer las prácticas, los tiempos, los procedimientos, el manejo de cada uno de los residuos para lograr una transformación en productos valorizados (abonos orgánicos, biomasa para la alimentación animal, obtención de biocombustibles), logrando beneficios económicos (mayores ingresos), ambientales(disminuir contaminación y favorecer el suelo) y sociales (mejorar la producción).

Por esto la presente monografía busca contribuir con la caficultura del país, con soluciones prácticas, para que los productores implementen en sus sistemas de producción el manejo de los residuos producidos en la etapa de poscosecha; con esto se busca utilizar los subproductos para obtener beneficios y cambios en el aprovechamiento.

Definición del problema

En Colombia el cultivo de café es uno de los más importantes para la economía del país, sin embargo este producto en la etapa de poscosecha (despulpado y lavado) genera residuos que incluyen el mucilago y la pulpa, los cuales constituyen un problema ambiental, debido a que los residuos se vierten a las fuentes hídricas, en otros casos se dejan descomponer en el suelo sin ningún control o manejo, produciendo problemas fitosanitarios y contaminación.

El vertimiento y derramamiento de los residuos en zonas a cielo abierto, esparcidas en los terrenos y a las fuentes de agua, es la forma de manejo actual y frecuente que le realizan a estos residuos. Estas inadecuadas prácticas en el manejo provocan daños a los recursos naturales y pérdidas económicas a los productores.

Los residuos de la poscosecha se pueden transformar en abono orgánico, o se utilizan para la producción de hongos comestibles, para la obtención de pectinas y de biocombustibles. Sin embargo los productores de café no tiene conocimientos de todos los aprovechamientos de estos residuos, además no conocen las prácticas para realizar la descomposición y formar productos con un alto valor agregado y valorizando los residuos del proceso. Debido a que la gran mayoría de los productores de café no ejecuta las prácticas para utilizar estos residuos generados del beneficio del café, se busca con la monografía determinar ¿cuáles son los métodos para la transformación de la pulpa y mucilago para obtener aprovechamientos de los residuos (productos resultantes) para lograr beneficios económicos y ambientales?

Objetivos

Objetivo general:

- Identificar las estrategias y tendencias de aprovechamientos de los residuos de la fase del beneficio del café en Colombia.

Objetivos específicos:

- Documentar una guía de estrategias y tendencias de aprovechamientos de los residuos de la fase del beneficio del café en Colombia.
- Caracterizar los métodos y procedimientos para la transformación de los residuos (la pulpa y el mucilago) en productos valorizados.
- Identificar los productos resultantes de los residuos (pulpa y mucilago) de la poscosecha del café
- Determinar los beneficios económicos, sociales y ambientales del aprovechamiento de los residuos de poscosecha del café.

Marco teórico y conceptual

Marco teórico.

Los dos principales subproductos del café durante el proceso de beneficio del fruto son la pulpa y el mucilago. Actualmente de los subproductos del café se puede generar energía renovables (bioetanol y biogas), alimentos para consumo humano (hongos), alimento para consumo animal (lombrices) y abono orgánico. Todos estos productos son muy importantes para el desarrollo y crecimiento de la caficultura. La cantidad de los residuos de pulpa y mucilago son considerables por lo tanto son unos elementos que sin ningún tratamiento ocasionan problemas en el ambiente y pérdidas a los productores de café.

Pulpa: Rodríguez, et al. (2013) afirman que la pulpa es el primer producto que se obtiene en el procesamiento del fruto. Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que Colombia exporta, se generan 162.900 toneladas de pulpa fresca, que si no se utilizan adecuadamente producirían una contaminación equivalente a la generada durante un año, en excretas y orina, por una población de 870.000 habitantes.

Mucilago: Rodríguez, et al. (2013) aseguran que el mucilago se genera en la etapa del desmucilaginado. Por cada millón de sacos de 60 kg de café que Colombia exporta, se generan aproximadamente 55.500 t de mucilago fresco, que si no se utilizan adecuadamente producirían una contaminación equivalente a la generada en un año, en excretas y orina, por una población de 310.000 habitantes.

Al realizar una transformación a través de métodos y procedimientos y con ayuda de microorganismos se logra obtener diversos productos con buenas características que favorecen el desarrollo y sostenibilidad de la caficultura; algunos de estos son:

Producción de abono orgánico: Rodríguez, et al. (2013) mencionan que el sistema tradicional se utiliza el manejo de la pulpa ha sido la descomposición en fosas, que son construcciones en las cuales ocurre la transformación de la pulpa en compost, para lo cual requiere de operaciones de manejo, que radican en volteos periódicos de la masa, que se deben efectuar cada 15 días, para lograr su transformación en 4 meses.

La fosa - procesador de materia orgánica. Según Botero y Sánchez (2012) tradicionalmente, la pulpa se ha manejado depositándola en procesadores o fosa de materia orgánica, las cuales son construcciones techadas con guadua, en las cuales se realiza el proceso de descomposición de la pulpa y se transforma en un material de excelente calidad que se emplee en el predio como abono orgánico para almácigos, lotes o se comercialice como compostaje. La pulpa se debe llevar a la fosa con el menor contenido de humedad para lograr su transformación en forma más eficiente. La pulpa del café descompuesta es una fuente excelente de materia orgánica para el suelo.

Moreno y Romero (2016) afirman que el compost de pulpa es un material de consistencia arcillosa, rico en nitrógeno, fósforo y potasio, con excelentes propiedades acondicionadoras del suelo, conformada entre otros por minerales y una amplia variedad de microorganismos que representa un papel importante para el desarrollo de las plantas. A lo anterior debe sumarse que los fertilizantes presentes en este tipo de abono orgánico se van disponiendo lentamente en el suelo, lo que permite aumentar su aprovechamiento mejorando las propiedades físicas del suelo.

Compostaje: Suárez (2012) afirma:

El compostaje es una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica, esta biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición mediante un proceso aerobio controlando el oxígeno como principal elemento, dado que los microorganismos consumen oxígeno para descomponer la materia orgánica. La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas. Es por estas razones los controles que se puedan ejercer, siempre estarán enfocados a favorecer el predominio de los microorganismos vivos presentes en los sustratos. Imita a la naturaleza para transformar de forma más acelerada los residuos, en lo que se denomina compost o mantillo, que tras su aplicación en la superficie de nuestra tierra se ira asociando al humus, que es la esencia del buen vivir de un suelo saludable, fértil y equilibrado en la naturaleza. Esta técnica se basa en un proceso biológico (lleno de vida), que se realiza en condiciones de fermentación aerobia (con aire), con suficiente humedad y que asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un alimento homogéneo y altamente asimilable por nuestros suelos. En este proceso biológico intervienen la población microbiana como son las Bacterias, Actinomicetos, y Hongos que son los responsables del 95% de la actividad del compostaje y también las algas, protozoos y cianofíceas. Además en la fase final de este proceso intervienen también macro organismos como colémbolos, ácaros, lombrices y otras especies. (p.46)

El compostaje tiene diferentes sistemas, algunos son:

El compostaje artesanal (proceso que no cuenta con ninguna tecnología, herramienta mecánica en ninguno de las actividades del compostaje y la capacidad de

producción es a baja o mediana escala, por lo tanto son incluidos los pequeños y algunos medianos productores solo se utiliza como herramientas una pala y un carretilla para transporte de material compostado), compostaje semi industrial (es el sistema de descomposición que cuenta con algunos equipos mecánicos para una o varias actividades del proceso es un sistema propio para los medianos y algunos grandes productores) y por último el compostaje industrial (son los procesos para la elaboración de compost completamente mecanizados en los cuales la tecnología cuenta un papel muy importante para la realización del proceso. Para este proceso de compostaje es propio para los grandes productores). (Suárez, 2012, p.49)

El lombricultivo: Botero y Betancur (2012) aseguran que la lombricultura es el cultivo intensivo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en residuos orgánicos, para obtener humus; al emplear pulpa de café se logra disminuir el tiempo de descomposición de este material, permitiendo: Reducción de la contaminación. No se desprenden olores desagradables en el proceso ni se descarga en las corrientes de agua, las instalaciones son sencillas y requieren poca mano de obra, obteniendo humus para utilizar en la finca o comercializarlos. Con una densidad promedio de 5 kg de lombriz / m², el lombricultivo se alimenta con pulpa una o dos veces a la semana; se estima que en un metro cuadrado (1m²) se maneja una tonelada de pulpa por año.

El lombricompuesto brinda nutrientes al cultivo, mejoran e incrementan las propiedades físico-químicas y del suelo, logrando una mayor productividad.

Efecto de la pulpa sobre la microflora: Cervantes et al. (2015) afirman que la pulpa de café al 25% clasifica como un compuesto mejorador de las propiedades microbiológicas de los suelos Acrisol Alúmico Crómico (AAC), un Cambisol Éutrico Húmico (CEH) y Cambisol

Éutrico (CE) dedicadas al cultivo del café. Su adición incrementa significativamente los microorganismos de alta eficiencia metabólica (hongos y actinomicetos) que estabilizan las pérdidas de carbono respiratorio (CO₂), además los precursores de las sustancias húmicas presentes en la pulpa (celulosa y lignina) ejercen resistencia a la degradación microbiana y aseguran la permanencia de los compuestos orgánicos en el medio.

Ensilaje de la pulpa: Rodríguez, et al. (2013) aseguran que la pulpa tiene un alto contenido de humedad (80%). El establecimiento de sistema de producción de abono orgánico y hongos comestibles y medicinales para mantenerse en el tiempo, requiere una disponibilidad permanente de este producto durante todo el año. El proceso de ensilaje busca conservar la pulpa para ser utilizada sin problema, como materia prima para diferentes procesos.

Armas et al. (2008) mencionan que la pulpa como tal es prensada hasta obtener el 60 o 65% de humedad, se vacía en los silos construidos para este fin, luego se agrega de 3 a 5% de melaza de caña de azúcar con relación al peso de la pulpa vaciada. Los mejores resultados de ensilaje con la pulpa fresca al término de 72 horas de ensilaje. La pulpa de café debe ser procesada adecuadamente evitando su acumulación por largos periodos de tiempo antes de ser deshidratados o ensilada, para obtener el máximo provecho de su potencial nutritivo.

Producción de hongos comestibles y medicinales: Rodríguez, et al. (2013) afirman que con la producción de hongos comestibles de los géneros *Pleurotus*, *Lentinula* y *Ganoderma*, se busca evitar la contaminación, incrementar los ingresos y asegurar la dieta alimenticia. Los hongos comestibles tienen alto contenido de proteína y se pueden cultivar en las regiones cafeteras.

Armas, et al. (2008) se refieren que el hongo que consiste en una masa algodonosa llamada micelio, el cual ha sido desarrollado sobre semillas de trigo. Dicha masa con las semillas de trigo, deberá mezclarse con la pulpa de café, en bolsas de plástico, cerrándolas para evitar la deshidratación o contaminación y luego unos 14 a 25 días después de la inoculación, aparecerán los primordios de los hongos, estos quedaran completamente desarrollados en unos 4 a 6 días después.

Compuestos bioactivos: Serna et al. (2018) afirman que la pulpa de café puede ser considerada como una materia prima con elevado contenido de compuestos, y su consumo (por ejemplo en infusiones) puede ayudar a la prevención de enfermedades degenerativas, teniendo en cuenta que se ha establecido una relación entre el consumo de estos polifenoles y la reducción de riesgos de padecer enfermedades crónicas, incluyendo obesidad y diabetes. Es importante resaltar que existe una relación directa entre la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales presentes en la infusión. Es posible aprovechar la pulpa de café para extraer compuestos bioactivos con posibles aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, permitiendo de esta manera aprovechar estos residuos, disminuir los efectos negativos sobre el medio ambiente y mejorar la rentabilidad de esta agrocadena.

Pulpa como combustible: Armas, et al. (2008) afirma que esta forma de utilización consiste en ocupar la pulpa de café después de haber pasado por un proceso de deshidratación como materia prima para la alimentación de los hornos de las maquinas que se utilizan para el secado del café. Para que la pulpa pueda ser utilizada como combustible se requiere que tenga una humedad máxima de 25 a 30% cuando se mezcla con cascarilla pues

esta tiene un 10% de humedad y dicha combinación alcanzara una humedad de equilibrio intermedia.

Pulpa para la fabricación de briquetas y pellets para la generación de calor:

Cubero et al. (2014) nos dicen que hay diversos beneficios de usar gránulos y briquetas producidos a partir de pulpa de café. Se debe utilizar diferentes métodos de secado de biomasa que se utilizarán en la producción de pellets y briquetas. La biomasa utilizada para fabricar estos productos se muele y compacta (para aumentar la densidad) para obtener productos de combustible de bajo costo. La pulpa presenta un contenido de humedad inicial del 90%, y se utiliza para el secado tiempos de 699, 308 y 55 horas para el secado al aire, solar y al aire caliente, respectivamente.

El mucílago

Rodríguez, et al. (2013) afirman que el mucílago se puede utilizar para remojar la pulpa y así enriquecer su contenido de nutrientes para su posterior descomposición y utilización para fertilizar los almácigos y el café en producción. Además también es empleado como ingrediente de los purines o Jabones líquidos.

Producción de biocombustibles: Rodriguez y Zambrano (2010) mencionan que se han realizado estudios de fermentación alcohólica de la pulpa fresca, utilizando levaduras comerciales, con promedios de rendimiento de 25,2 ml de etanol por 1,0 kg de pulpa fresca y 58,4 ml de etanol por 1.0 kg de mucílago fresco. Se estima que se pueden obtener 1,97 L de etanol de la pulpa y el mucilago provenientes del beneficio de 100 kg de café cereza, lo que representa en terminos energeticos 42 MJ.

Biogás: Rodríguez, et al. (2013) dicen que es una mezcla constituida por metano en una proporción 50- 80 % y gas carbónico con pequeñas trazas de vapor de agua, hidrogeno, sulfuro de hidrogeno, amoniaco, monóxido de carbono, nitrógeno y oxígeno y trazas de compuestos orgánicos y se origina por la degradación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. El biogás se puede utilizar como combustible o para la producción de energía eléctrica.

Alimentación animal: Rodríguez, et al. (2013) afirma que la utilización del mucílago en la alimentación porcina se encontró que al suministrar el 80% de concentrado, de acuerdo con los requerimientos del animal y suplementar la ración iniciando con 2 L de mucílago de café diario, en animales con pesos superiores a 40 kilogramos, se obtiene ganancia en peso.

Producción de pectina: Armas, et al. (2008) afirma que la pectina es un polisacárido natural, el cual es uno de los constituyentes mayoritarios derivados de la pared celular de las plantas. Son muy abundantes en todo el reino vegetal, pueden ser obtenidas en cantidades de la pulpa de café, que las contienen respectivamente en un 20-40% y 10-20% de la materia seca. La pectina se utiliza para la industria alimenticia y farmacéutica. Para extraer las pectinas se lava previamente el grano despulpado y desmucilagina rápido para impedir que la fermentación degrade las pectinas. Se acidifica el mucílago extraído inmediatamente después de la extracción, para reducir la separación enzimática. El material es centrifugado para separar las impurezas de las sustancias pépticas y luego se utiliza alcohol etílico para precipitar la pectina. La recuperación de las pectinas se logra por medio de filtración seguida de un secado a temperaturas bajas.

Marco conceptual

Algunos términos que ayudan a comprender el estudio son:

Aprovechamiento de los residuos: es la forma de obtener los beneficios de los residuos resultantes, logrando la transformación sus usos y aplicaciones.

Poscosecha del café: es la fase en la cual se realiza el beneficio del café, incluyen las actividades de despulpado, fermentación y lavado los cuales arrojan los residuos como son la pulpa y mucílago.

Pulpa: Sáenz et al. (2013) aseguran que la pulpa es el residuo que en mayor volumen resulta del beneficio del café, corresponde al 40% del peso de la cereza madura, es decir es la cascara del fruto maduro.

El mucílago: Sáenz et al. (2014) afirma que el mucilago es una película gelatinosa constitutiva del café que queda expuesta cuando el fruto es despulpado, la cual está fuertemente adherida al endocarpio o pergamino. Representa en promedio el 14.85% del peso del fruto fresco.

Abono Orgánico: es todo material orgánico que se utiliza para la fertilización de los cultivos y mejoramiento de las propiedades químicas y físicas del suelo.

Despulpado: Sáenz et al. (2014) definen el despulpado como la primera etapa del beneficio húmedo en la que el fruto pasa por una transformación, dado que se dejan libres de pulpa o cascara, las dos semillas que se encuentran dentro. Esta labor la realizan las maquinas desulpadoras, las cuales aplican esfuerzos cortantes y de compresion a los frutos

para que la pulpa se rasgue y salga libremente los dos granos, gracias también a la acción lubricante del mucilago que las recubre.

Lavado del Café: Sáenz et al. (2014) mencionan que una vez degradado el mucilago por fermentación se procede al lavado, el cual tiene la finalidad principal es remover definitivamente el mucilago de los granos de café.

Métodos y procedimientos para la transformación de los residuos (la pulpa y el mucilago) en productos valorizados.

Para obtener productos valorizados con la pulpa y el mucilago es necesario ejecutar procedimientos con buenas prácticas agrícolas para transformarlos y obtener valor agregado y así contribuir con el desarrollo de la agricultura. Existen diferentes métodos para el aprovechamiento de estos residuos, los cuales cada uno tiene sus ventajas y cada productor utiliza diferentes metodologías.

Los elevados costos de producción que acarrea el proceso del beneficio del café y las multas derivadas por las autoridades de las corporaciones autónomas relacionadas con los impactos de los vertimientos a fuentes hídricas hace que se reconsidere el manejo de este tipo de subproducto al igual que el mucílago que son los más contaminantes. (Pardo, 2016, p.27)

Por eso se hace necesario describir los diferentes métodos y procedimientos para la transformación de los residuos del café, logrando conocer y obtener una conversión en productos beneficiosos para la agricultura y evitar los graves daños al ecosistema:

Rodríguez et al. (2013) afirman que el modelo integral de manejo del agua en el beneficio del café: El despulpado y transporte de la pulpa sin agua a fosas techadas, indudablemente se constituye en la acción ambiental preventiva más importante, ya que está sola práctica evita que el 72% de la contaminación potencial de los subproductos del beneficio

húmedo del café llegue a las fuentes hídricas a través de la pulpa, perdiéndose la posibilidad de transformarla y darle valor agregado. El modelo integral de manejo de los subproductos involucra la utilización de la pulpa de café para la producción de etanol, la utilización de la pulpa residual para el cultivo de hongos comestibles y la utilización de la pulpa residual del cultivo de los hongos para la producción de abono orgánico. Las vinazas generadas en el proceso de obtención de etanol se tratan por digestión anaerobia para producir biogás. De esta forma, a partir de los subproductos del café se puede generar energía renovable (Bioetanol y biogás), alimentos para consumo humano (Hongos), alimento para consumo animal (Lombrices) y abono orgánico, en forma secuencial y en armonía con el ecosistema cafetero.

La pulpa de café se puede usar de diversas formas: se realiza la transformación para obtener abono orgánico, existen diferentes métodos y elementos para lograr abono:

Producción de abono orgánico.

Rodríguez et al. (2013) aseguran que el sistema tradicional que se ha utilizado para el manejo de la pulpa ha sido la descomposición en fosas, construcciones en las cuales ocurre la transformación de la pulpa en compost, para lo cual se requiere de algunas operaciones de manejo, que radican fundamentalmente en volteos periódicos de la masa, que se deben efectuar cada 15 días, para lograr su transformación en aproximadamente 4 meses.

En estos sistemas de manejo se puede utilizar pulpa de café sola, obtenida por un beneficio tradicional o mezclada con mucílago, esta última proveniente de beneficiaderos que utilicen despulpado sin agua, desmucilaginado mecánico y mezcla de los dos subproductos, por medio de un tornillo sinfín. Estos abonos orgánicos proporcionan nutrimentos al cultivo, mejoran las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo, incrementando su productividad y se puede utilizar como abono en huertas y viveros, entre otros.

Armas et al. (2008) afirman que:

“La elaboración de abono orgánico es un proceso aeróbico en el cual hay que mantener un suministro constante de aire a toda la masa de material que se está fermentando. Esto se puede lograr en dos formas:

-Para beneficios de pequeña capacidad en donde el sistema es una abonera tipo “caseta o trinchera” que consisten en depósitos con falso fondo, paredes adecuadas para su ventilación con techo protector. En dichas aboneras se va acumulando la pulpa producida diariamente, alternándola con otras basuras de la finca. En estas aboneras es necesario realizar operaciones ocasionales de volteo del material, para evitar condiciones extremas de anaerobiosis. Este proceso manual podría durar aproximadamente 1-2 meses.

-Para beneficios de mediana y gran capacidad donde las aboneras tienen aireación forzada por un método acelerado que consiste en apilar la pulpa de café sobre un tubo plástico perforado al cual se le conecta un ventilador en el extremo, este está colocado en la base de una pila triangular del material a biodegradarse. El ventilador funciona con cierta periodicidad succionando aire a través de la pila de material. Este proceso acelerado podría durar entre 18 a 22 días”.

Para Armas et al. (2008) las características de la materia prima para el procesamiento del abono orgánico son: “pulpa fresca de café. La disposición final adecuada de la pulpa requiere maquinaria grande como son los tractores, y camiones para su transporte, demanda igualmente terrenos suficientemente grandes para el vertido de esa pulpa, para provocarle movimientos periódicos y finalmente para empacarla y comercializarla”

Para obtener un abono orgánico con buenas características y propiedades se puede realizar diferentes métodos y prácticas en los compostajes:

Compostaje

Clavijo y Romero (2016) afirman que el mejor método para la obtención de abono orgánico en fincas cafeteras es el compostaje de la pulpa de café, a este se le adiciona levaduras y aguas residuales del primer lavado del café, lo cual permite obtener los mejores rendimientos en el proceso de elaboración del abono orgánico y reducen en mayor proporción la contaminación orgánica, al involucrar en el proceso toda la primera cabeza de lavado. Además la adición de microorganismos eficientes (EM) permite acelerar el proceso de descomposición de la pulpa de café. Los tratamientos inoculados con levadura y aguas mieles logra retener el 100% de la carga contaminante de los lixiviados, el trabajo de estos microorganismos en presencia de esta fuente de carbono para generar sustancias hidrocarbonadas permite “secuestrar” el 100% de la carga contaminante con la ventaja de aportar mejores contenidos nutricionales (nitrógeno y fosforo). Los valores y el comportamiento de las variables como son el pH, la Temperatura, la relación final de C/N y su observación aparente a suelo, en los tratamientos de compostaje y lombricompostaje son indicaciones de la descomposición de un material.

Suárez (2012) afirma:

El compostajes es una biotécnica, donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica, esta biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los

materiales orgánicos en descomposición mediante un proceso aerobio controlando el oxígeno como principal elemento, dado que los microorganismos consumen oxígeno para descomponer la materia orgánica. Imita a la naturaleza para transformar de forma más acelerada los residuos, en lo que se denomina compost o mantillo, que tras su aplicación en la superficie de nuestra tierra se ira asociando al humus, que es la esencia del buen vivir de un suelo saludable, fértil y equilibrado en la naturaleza. (p.46)

Abarrataldea (citado por Suárez, 2012) piensa que la técnica del compostaje se basa en un proceso biológico (lleno de vida), que se realiza en condiciones de fermentación aerobia (con aire), con suficiente humedad y que asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un alimento homogéneo y altamente asimilable por nuestros suelos. En este proceso biológico intervienen la población microbiana como son las Bacterias, Actinomicetos, y Hongos que son los responsables del 95% de la actividad del compostaje y también las algas, protozoos y cianofíceas. Además en la fase final de este proceso intervienen también macro organismos como colémbolos, ácaros, lombrices y otras especies.

Proceso de Compostaje

El proceso de compostaje puede dividirse en cuatro períodos importantes, según la evolución, de la temperatura:

Mesolítico: La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.

Termófilo: Cuando se alcanza una temperatura de 40°C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60°C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias

esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.

De enfriamiento: Cuando la temperatura es menor de 60°C, reaparecen los hongos termófilos que reinvaden el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40°C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.

De maduración: Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus. (Suarez, 2012, p.47)

Suárez (2012) refiere:

El compostaje es un proceso dinámico, debido a la actividad combinada de diversas poblaciones de bacterias y hongos, además las condiciones ambientales (temperatura, humedad) influyen en este proceso y las características de los residuos favorecen la correcta descomposición de los residuos. Cada población bacteriana tiene unas condiciones ambientales más adecuadas para su desarrollo así como unos tipos de materiales que puede descomponer más fácilmente; por eso una población empieza a aparecer mientras que otras se encuentran en el momento más elevado de su desarrollo y otras empiezan a desaparecer. De esta forma se complementan las actividades de los diferentes grupos. Obtener un buen compost se logra con la suministración de los microorganismos, de un buen entorno para que desarrollen su actividad. (p. 47)

Los tipos de aireación más comunes para el compostaje son:

Aireación dinámica: consiste en el volteo de las pilas, generando una mezcla más homogénea de los materiales orgánicos a compostar, una mejor aireación, un mejor intercambio de gases y no se crea zonas anaerobias. Es el proceso más eficiente y rápido, pero implica mayores costos.

Aireación estática: consiste en el flujo de aire a través de la pila. Este se genera por un compresor o una turbina (blowuer) que conectados a una red de tubos internos en las pilas, generan un intercambio gaseoso forzado. (Suarez, 2012, p.47)

Suarez (2012) afirma:

Relación carbono nitrógeno: Dentro del proceso del compostaje es muy importante la relación Carbono/Nitrógeno por lo tanto se deben conservar las siguientes proporciones:

Peso (de la materia prima) $\times (1 - \% \text{Humedad} / 100) = \text{MP base seca}$.

Luego se calcula el Carbono y el Nitrógeno con base en Materia Seca.

Carbono C = MP base seca $\times (\% \text{ de carbono de la MP} / 100)$

Nitrógeno N = MP base seca $\times (\% \text{ de Nitrógeno de la MP} / 100)$

Posteriormente se suma por separado el Carbono y el Nitrógeno de cada uno de los componentes de la mezclas y se obtiene un consolidado, luego el total del Carbono se divide por el total del Nitrógeno para obtener la relación final. Para realizar un balance adecuado se aumenta o disminuye la materia prima que más aporte Carbono o Nitrógeno según sea el caso, para obtener un resultado entre 20:1C/N a 25:1 C/N relación ideal para iniciar un proceso de compostaje. (p.48)

Modelos de compostaje

Sistemas de compostaje artesanal: Este proceso no cuenta con ninguna tecnología, herramienta mecánica o eléctrica en ninguno de las actividades del compostaje y la capacidad de producción generalmente es baja o mediana escala en este sistema serán incluidos los pequeños y algunos medianos productores solo se utiliza como herramientas una pala y una carretilla para transporte de material compostado.

Sistemas de compostaje semi industrial: Son aquellos en los cuales el sistema de descomposición cuenta con algunos equipos mecánicos o eléctricos para una o varias actividades del proceso es un sistema propio para los medianos y algunos grandes productores.

Sistemas de compostaje industrial: Son aquellos procesos para la elaboración de compost completamente mecanizados en los cuales la tecnología cuenta un papel muy importante para la realización del proceso. Para este proceso de compostaje es propio para los grandes productores el cual estará acorde a su producción de café en cereza. La disposición de los residuos se hace en pilas de 2m de ancho por 10m de largo y 2m de alto, las cuales deben ser volteadas la primera semana dos veces al día para continuar hasta la semana 12 una vez diaria época para la cual estará estabilizado y maduro apto para continuar con el proceso de empacado con el fin de asegurar la no presencia de objetos extraños en el producto final y posterior incorporación al cultivo. Se realiza el volteo con una volteadora acondicionada al toma fuerza de un tractor pequeño de 25 hp, una báscula con capacidad de 1000 kilogramos, una cosedora, coche y estivas para su almacenamiento el cuales por un periodo muy corto. Este es un producto que es

incorporado a los cultivos propios de la finca como lo es el mismo café, pastos, jardines a la elaboración de almácigos (Suárez, 2012, p.49).

Estas tecnologías son adoptadas por los pequeños, medianos y grandes productores para no continuar con las contaminaciones al medio ambiente que se están ocasionando en la actualidad. Además de esto, el estiércol de los animales de la finca se puede compostar para mantener una buena relación de carbono nitrógeno. El mucilago se puede utilizar como riego en los casos que la pila de compost lo requieran (Suárez, 2012).

Hay algunos procedimientos, métodos y mezclas para lograr un compost con buenas propiedades nutricionales:

Escobar, Mora y Romero, (2012) refieren que el Compost se puede realizar con las diferentes mezclas: 1: pulpa, hojarasca, banano, gallinaza. 2: pulpa, hojarasca, banano, bovinaza, y 3: pulpa, hojarasca, gallinaza, bovinaza. Se estandarizan a 85 kg y se adicionan a cada tratamiento 10 g de melaza diluida para estimular la actividad microbiana y 10 g de inóculo (compost terminado de gallinaza). Luego se ejecutan volteos para lograr la descomposición y un buen compost.

Para lograr que 150 kg de pulpa tengan 1,50 metros, es necesario construir, 2 paredes en esterilla y guadua, para colocarlas en los extremos de la pila y evitar que las cáscaras resbalen. La altura de cada pared es de 1,60 metros, el ancho de 0,50 metros y largo de 0,70

metros. Los tratamientos a compostar son volteados semanalmente y los lixiviados propios de la pulpa se recogen y se incorporan, nuevamente a la masa (Moreno & Romero, 2016).

-Compostaje de la pulpa + levadura + 1ª Cabeza de Lavado: al iniciar se adiciona a la pulpa (40 g de levadura disuelta en 460 ml de agua) + 150 litros de la primera cabeza de lavado. Estas sustancias disueltas se adicionan con regadera y de forma uniforme sobre la pulpa al iniciar el proceso (Moreno & Romero, 2016).

-Compostaje de la pulpa + 1ª y 2ª cabeza de lavado: Al iniciar se adiciona a la pulpa, con regadera y de forma uniforme 150 litros de la primera cabeza de lavado y 50 litros de la segunda cabeza de lavado. (Moreno & Romero, 2016).

También se pueden elaborar compostajes con otros materiales como son: pulpa de café, troncho de plátano, gallinaza agregando tres cantidades diferente. Estos compostajes aplicados mejoran las propiedades químicas del suelo, provocan cambio en el pH, el contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, los cuales ayudan a mejorar la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo (Moriones & Montes, 2017).

Escobar et al. (2012) aseguran que los microorganismos de mayor importancia que se encuentran en las mezclas de los compost son: bacterias, los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*; para actinomicetos, los pertenecientes al género *Streptomyces* y para los hongos, los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. Las mezclas, presentan mayor diversidad y abundancia de poblaciones microbiológicas, lo cual pone de manifiesto, la importancia de realizar mezclas, a partir de sustratos simples para obtener mejores resultados y optimizar, el uso de residuos orgánicos. Las mezclas que se pueden realizar son: Mezcla1: (Pulpa de café + Hojarasca +

Banano + Gallinaza); mezcla 2: (Pulpa de café + Hojarasca + Banano + Bovinaza) y mezcla 3: (Pulpa de café + Hojarasca + Gallinaza + Bovinaza). Una vez obtenido el material en las fincas, se procede a preparar los tratamientos. Se revisa la homogeneidad de los sustratos, evitando de esta manera, el procesamiento de masas aglutinadas o residuos extraños. Los residuos de banano son picados con machete para reducir el tamaño de las partículas; a las muestras de bovinaza y gallinaza, se les adiciona agua, para establecer una óptima humedad; seguidamente, se realiza la mezcla de los materiales. A cada tratamiento, se le adiciona 10 g de melaza, diluida por cada 100 g de muestra; igualmente, se adiciona, 10 g de inóculo (compost terminado de gallinaza), por cada 100 g de muestra, para promover la actividad microbiana. Finalmente, se procede a llenar bultos de lona, hasta una altura de 90 cm, con el propósito de garantizar un aumento adecuado de temperatura; cada tratamiento, se identifica mediante rótulos.

Vásquez de Díaz, Prada, Mondragón, (2010) refieren que el proceso de los microorganismos que actúan sobre la materia biodegradables tarda normalmente de 5 a 9 meses, tiempo en el cual se alcanza el grado de madurez al realizar la biotransformación, mineralización o degradación completa de la pulpa del café. El producto final de este proceso llamado compost, es rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo y bacterias y puede ser aplicado nuevamente a los cultivos de café para la recuperación de suelos, lo que favorece el crecimiento vegetal y ayuda a convertir los suelos infértiles en fértiles. Sin embargo, este proceso es lento y costoso, por lo tanto es necesario acelerar el proceso a través de la utilización microorganismos nativos de compostaje de residuos post cosecha del café (pulpa), aplicando la técnica de bioaugmentación. Logrando la disminución del tiempo de compostaje, 150 días a 40 días, a partir de la pulpa del café utilizando microorganismos nativos propios para lograr una rápida aceleración del proceso, se logra obtener un compost con los niveles adecuados. Los microorganismos nativos de la pulpa del café están involucrados en el proceso

de biodegradación son *Pseudomonas spp*, *Citrobacter koseri*, *Bacillus spp.*, *Escherichia coli*, *Stenotrophomona maltophilia*, *Cromobacterium spp*, *Klebsiella oxytoca*. Se preparan medios de pre-enriquecimiento en medio basal de sales (NaCl 0.15g, (NH₄)₂SO₄ 0.3g, K₂HPO₄ 0.37 g, KH₂PO₄ 0.125 g, MgSO₄·7H₂O 0.075g, KNO₃ 0.3g) al que se le adicionan 100 gr de la muestra. Posteriormente, se agitan en forma continua (120 r.p.m) durante 12 días. A partir del séptimo día se realizan siembras por agotamiento en Agar MacConkey, Agar Tripticasa de Soya, Agar Malta, para lograr el aislamiento de bacterias y hongos, para luego ser utilizados en el proceso de aceleración del compostaje. Brevemente, se realizan siembras en agar modificado con diferentes grupos de microorganismos en forma masiva hasta la mitad de la caja con una cepa A e incubada a 37°C por 24 horas; luego en la mitad no sembrada se realiza una estría perpendicular con otra cepa B y se incuba en las mismas condiciones. Por lo tanto los microorganismos son compatibles y se conformaron los consorcios para ser aplicados durante el proceso de compostaje. Finalmente, se preparan caldos modificados mediante fermentación discontinua a partir de un volumen de 100 mL, luego se realizan los montajes de las pilas de compostaje con un volumen de 175 Kg y se inoculan los microorganismos; además se aplica los pooles bacterianos en los días 1, 10, 20 y 30; adicionalmente se realiza volteó en cada uno de estos días.

Pérez y Calderón (2017) afirman que las composteras (tambores rotatorios) son una alternativa para la elaboración de compost, estos se realizan de la siguiente forma: El tambor plástico con capacidad para 55 galones, un tubo de PVC de 1.25 metros de largo y dos pulgadas de diámetro.

Procedimiento para la construcción:

- 1) Se agujera el centro de la parte superior y el fondo del tambor, lo suficientemente grandes para que entrara el tubo de PVC que se usó como eje y manivela.
- 2) Se realiza perforaciones en el cuerpo del tambor con una sierra copa de taladro de 1 pulgada, para la ventilación de compost.
- 3) Se realiza una abertura en el costado y se agrega bisagras simples con un pasador para crear una puerta con la pieza cortada del costado del tambor.
- 4) Se introduce el tubo de PVC en las perforaciones centradas del tambor
- 5) Se construye un caballete de madera para sostener el tambor de compostaje.
- 6) Se coloca el barril con el tubo sobre el caballete.

Pérez y Calderón (2017) aseguran que para adecuar las composteras se realizan perforaciones circulares a los extremos de los tambores por todo el perímetro para asegurar su ventilación, junto con su puerta. Con este método se puede realizar diferentes tratamientos, los cuales dan buenos resultados en el compost: Los tratamientos que se puede ejecutar son: Tratamiento1: (Pulpa de café sin mucilago), tratamiento 2:(Pulpa de café sin mucilago+ estiércol vacuno (Proporción 1:1)), tratamiento 3: (Pulpa de café sin mucilago+ estiércol vacuno (Proporción 2:1)), tratamiento 4:(Pulpa de café con mucilago), tratamiento 5:(Pulpa de café con mucilago+ estiércol vacuno (Proporción 1:1)) y tratamiento 6:(Pulpa de café con mucilago+ estiércol vacuno (Proporción 2:1)). Una vez los tratamientos conformados se pesa y se le adiciona el 10% de dicho peso de cisco de café, 10% de cáscara de banano, 0.5% de úrea y 0.8% de cal dolomita. Los materiales se depositan dentro del tambor hasta llenarlo 2/3, dejando un espacio para la aireación y mezcla. El volteo se realiza cada tres días. El método de tambor rotatorio se valida como un método efectivo para la obtención de compost dado a que los tratamientos alcanzan su madurez en un periodo rápido; los tratamientos (2, 3 y 5) alcanzan su madurez en 54 días, y los tratamientos (1, 4 y 6) en 63 días. Estas diferencias en

el tiempo de maduración del compost para cada tratamiento se debe a la influencia directa de los componentes utilizados y las cantidades de los mismos en cada tratamiento que pueden acelerar o retardar el tiempo de maduración de acuerdo a las características del mismo, tal es el caso de los tratamientos que incluían el estiércol vacuno, que gracias a las características bacterianas presentadas, ocupan un tiempo menor de maduración. El mucilago es un factor determinante en el contenido de humedad del compost. La pulpa de café provoca un valor mayor de materia orgánica y carbono orgánico al finalizar el proceso de compostaje debido a que su composición presenta gran cantidad el material orgánico y nutriente que son utilizados durante el proceso.

Para obtener los abonos orgánicos se puede realizar a través de diferentes procedimientos (fosas, lombricultivo)

Sarasty (2012) refiere que el mucilago del café, se puede realizar un proceso de lombricompostaje. En el cual se utiliza la lombriz *Eisenia foetida*, con el fin de conocer su valor potencial como fertilizante biológico. Por otra parte, la pulpa y el mucílago presentan alta riqueza microbiana, principalmente en bacterias y levaduras.

La fosa - procesador de materia orgánica.

Rodríguez, et al. (2013) aseguran que se debe construir una fosa techada para almacenar la pulpa: La pulpa y el mucílago representan el 100% de los residuos que resultan durante el proceso de beneficio húmedo de café. La construcción de fosas techadas para la

descomposición de la pulpa permite evitar el 75% de la contaminación hídrica, si el transporte de la pulpa se realiza por gravedad o mecánicamente, sin la utilización de agua

Botero y Betancur (2012) afirman que tradicionalmente, la pulpa se ha manejado depositándola en procesadores (fosas ó composteras). Estas son construcciones techadas normalmente en guadua o mampostería diseñada de acuerdo al espacio disponible de cada predio y al volumen de producción que maneja anualmente cada finca; estas fosas ó composteras requieren que contengan varios compartimentos o en su defecto, si se emplea solo un compartimento este debe estar subdividido mínimo en dos áreas que permitan el volteo del material. El piso sobre el cual se deposita la pulpa debe permitir el “escurrido” de los fluidos (líquidos-lixiviados) que componen la pulpa. Con el fin de facilitar el “escurrido” se puede contar con un falso piso (tendido de guaduas) a unos 10 a 15 cm del piso en cemento. La pulpa o la mezcla de pulpa y mucilago, debe llegar a la fosa con el menor contenido de humedad; No se recomienda despulpar ni transportar con agua. La idea es lograr su transformación en forma más eficiente, teniendo cuidado de que no se seque totalmente, con el fin de evitar que se suspenda su transformación. Para ello, se pueden emplear en forma de regadío los fluidos (lixiviados) resultantes del beneficio.

Existen diferentes formas y tiempos para realizar el lombricultivo para obtener un buen abono orgánico que cumpla con las condiciones esperadas:

El lombricultivo.

Botero y Betancur (2012) afirman que al emplear pulpa de café se logra disminuir el tiempo de descomposición de este material, permitiendo: Reducción de la contaminación. No se desprenden olores desagradables en el proceso ni se descarga en las corrientes de agua.

Economía. Las instalaciones son sencillas y requieren poca mano de obra, obteniendo humus y lombrices que se pueden utilizar en la finca o comercializarlos.

Se trabaja en “camas” o “lechos” organizados en forma de hileras similares a las utilizadas en los cultivos de hortalizas, de un metro de ancho y longitud variable de acuerdo con la disponibilidad del terreno; tradicionalmente de 2 a 3 mts y una altura de 0,40 mts. Se pueden construir en guadua o en ladrillo, contando con una separación prudencial entre hileras para permitir la manipulación del cultivo. El área en donde se establece el lombricultivo debe estar techada para impedir el encharcamiento por el agua lluvia, y con cerramiento lateral. Sin embargo, debe remojarse hasta lograr una humedad adecuada, para lo cual se emplean fluidos resultantes del mismo beneficio, Rodríguez, et al, 2010. Con una densidad promedio de 5 kg de lombriz / m², el lombricultivo se alimenta con pulpa una o dos veces a la semana; se estima que en un metro cuadrado (1m²) se maneja una tonelada de pulpa por año.

Rodríguez, et al. (2013) aseguran que se puede transformar la pulpa en abono orgánico mediante un compostaje o lombricompostaje techado. El lombricompostaje de la pulpa de café se considera la práctica más sencilla para el aprovechamiento eficiente de este subproducto, dado que acelera su proceso de transformación, disminuye la mano de obra y mejora los rendimientos del abono orgánico obtenido. Los lombricultivos se pueden construir utilizando diferentes sistemas de manejo como: Lechos en guadua, esterilla, ladrillo y cajas plásticas, en los cuales se encuentra que la pulpa generada por una finca que produzca 1.000 @.año⁻¹ de c.p.s. (Aproximadamente 25 t de pulpa fresca), se puede manejar en un área efectiva de 25 m² de lombricultivo, con una densidad de lombriz pura de 5 kg.m²; es decir, que se puede manejar alrededor de 1 t de pulpa de café por 1 m² de lombricultivo al año. Si no se dispone de

lombrices se puede realizar la transformación de la pulpa mediante volteos periódicos bajo techo, para evitar que las aguas lluvias lixivien los componentes de la pulpa y ocasionen impactos negativos en el ecosistema.

Armas et al. (2008) advierte que para realizar el proceso de lombricultivo se requiere:

“La construcción de unas cajas, camas o lechos de madera, bambú o bloques de cemento. Estas deben hacerse de 3 pies de ancho, no más de 10 pies de largo y 18 pulgadas de profundidad. El piso debe construirse en cemento para aislar el cultivo del suelo y prevenir el ataque de plagas a la lombriz. Este debe tener una pendiente de 2 a 5% de inclinación para evitar que se inunde cuando se utiliza riego. La separación entre las cajas debe ser de 18 pulgadas para darle accesibilidad y aprovechar al máximo el espacio. Se hace necesario un rancho para cubrir las camadas de pulpa de café y evitar el lavado de esta y del mucilago por las lluvias, lo que generaría contaminación. El techo de la estructura proporciona sombra, mejora las condiciones para el trabajo de la lombriz y facilita el manejo de los materiales. Este debe construirse de 8 a 9 pies de altura utilizando materiales como planchas de zinc, cartón u otros. Conviene, además, cercar la estructura con tela metálica, alambre de ciclón o eslabonado para evitar la entrada de aves (gallinas, pájaros, etc.) y otros animales depredadores de la lombriz.

Características de la materia prima para su procesamiento: Debido a la composición química de la pulpa de café esta se fermenta llegando a niveles de 60°C a 70°C de temperatura. Este no resulta ser un ambiente adecuado para la lombriz y puede provocarle la muerte, por lo tanto es necesario bajar la temperatura de la pulpa de café. El procedimiento para dicha acción se realiza por medio de remoción y aplicación de agua continuamente, hasta

niveles de 15°C a 25°C de temperatura, estado en el que las lombrices alcanzan la máxima capacidad de producción”.

Suárez (2012) afirma:

El manejo de esta Lombriz es muy sencillo e ideal para tener en la finca, pues se utiliza como alimento de ellas todos los desechos orgánicos como estiércoles de los animales y vegetales sobrantes de los cultivos. La lombriz es un anélido hermafrodita, ésta tiene un color amarillo verdoso, con unas dimensiones aproximadas de 2-3 por 3-4 mm. Las condiciones del medio deben ser óptimas, ya sea para la producción del humus. Una buena temperatura del medio inmediato oscila alrededor de 19 - 20°C. Los climas templados, el clima de nuestra zona cafetera es ideal para el cultivo de la lombriz. Así mismo es muy importante el manejo del Lombricultivo como es una comida idónea, agua de calidad y en la cantidad necesaria. La cantidad inicial del pie de cría y la velocidad de transformación de la pulpa depende de la cantidad de lombrices. Cuando se desea un proceso rápido, la densidad de lombrices debe ser alta: alrededor de 5 kg de lombriz pura por metro cuadrado, que corresponde aproximadamente entre 20 y 25 kg de lombriz mezclada con sustrato conocida como lombriz comercial. Una de las desventajas para la zona cafetera es que son poco eficientes, requiere de una estructura construida y grandes áreas, no toleran humedades al punto de saturación como ocurre en la época de pico de cosecha y este sistema colapsaría. (p.45)

Moreno y Romero (2016) refieren que para organizar el lombricultivo, se utilizan camas por réplica construidas en esterilla y guadua; de 1 m de ancho, altura de 40 cm y 2 m de longitud. El piso fue de esterilla y elevado de suelo a 20 cm. En las camas de 2 m² se empieza

depositando una capa inicial de 10 a 15 cm de pie de cría de lombrices; depositando en el fondo de la cama pulpa descompuesta. Así, se asegura que la lombriz disponga de un medio para refugiarse si las siguientes condiciones del alimento no son las adecuadas: pH=6 - 8, T° = 20-25 °C, Humedad=75 - 85%. Se utilizan capas delgadas de alimento, de máximo 4 a 5 cm, para evitar el calentamiento del alimento cuando se usa muy fresco, facilitar la aireación del cultivo, asegurar la transformación del material y mantener las lombrices alimentándose en la parte superior, este material se aplica cada mes.

Vermicompostaje de la pulpa de café

Para la transformación de vermicompostaje la pulpa de café se tiene aproximadamente 30 días de "pre-descomposición", es decir hasta que el sustrato este maduro; una coloración café oscuro, sin mal olor y semipastoso al tacto, esto indica que el pH, humedad y temperatura son óptimos para la adición de la lombriz. (Quintero, 2016, p. 62).

Quintero (2016) afirma:

Condiciones para el proceso de vermicompostaje. Para mantener en condiciones óptimas las lombrices y conseguir un buen vermicompost deben cumplirse una serie de requisitos:

-Ausencia de luz: las lombrices viven debajo de la superficie del suelo, no toleran bien la luz, por lo que aparte deben estar en un recipiente tapado.

-Humedad: la presencia de cutícula permeable hace que pierda agua fácilmente, no les conviene que baje drásticamente la humedad, porque no sólo paraliza la actividad sino que puede reducir la población.

-Temperatura: el óptimo debe oscilar entre los 20° C, aunque resisten temperaturas entre los 4-30° C. Así cuando la temperatura es inferior a 7° C, las lombrices no se reproducen, pero siguen produciendo abono, aunque en menor cantidad.

-pH: no soportan valores inferiores a 4,5, la acidez les resulta desagradable, aunque algo leve pueden tolerarla.

-Alimentación: prefieren los restos vegetales algo descompuestos con una relación C/N relativamente baja, esto hace que presenten una fuerte selectividad con respecto a la vegetación que existe sobre el suelo. Los restos de verduras y frutas de cocina son de su agrado en cuanto a la relación C/N. (p. 36)

Pardo (2016) afirma:

Los géneros de microorganismos hallados en los sustratos dependen de los nutrientes disponibles, el contenido de humedad, la aireación de la masa, temperatura y pH, parámetros esenciales que convierten tanto a los hongos, como los *actinomicetos*, la pulpa y el mucílago en sustratos atractivos para el empleo como fertilizantes biológicos en actividades de agricultura orgánica, contribuyendo de gran manera a la minimización de residuos contaminantes al medio ambiente. (p.32)

Secado de la pulpa.

Torres, Martínez, Serna y Hernández (2019) refieren que el secado de la pulpa se realiza a temperaturas de 40, 50 y 60°C y tiempos de 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 300 y 420 minutos. El proceso se realiza en una estufa de circulación forzada (Binder, Alemania). El material vegetal secado a 60°C presenta valores más bajos de humedad los cuales son más

evidentes a partir de la primera hora de secado, esto se presenta posiblemente por la mayor cantidad de energía disponible a esta temperatura para remover el agua de la superficie de la pulpa de café en un menor tiempo. Para el secado de la cáscara de café se encuentra que las condiciones óptimas de temperatura a 60°C y siete horas de secado generan el menor contenido de humedad; sin embargo, se recomienda aumentar el tiempo de secado para disminuir el contenido de humedad y obtener un producto más estable desde el punto de vista fisicoquímico en almacenamiento.

Producción de briquetas y pellets para la generación de calor.

Cubero et al. (2014) aseguran que los tiempos de secado para los residuos de café son de 699, 308 y 55 horas para el secado por aire, solar y aire caliente, respectivamente. Por lo tanto, el secado al aire caliente es la mejor opción para los residuos de café debido a su bajo tiempo de secado. La cámara de aire caliente tiene el tiempo de secado más corto para alcanzar el 20% de humedad inicial, seguido de secado solar y secado al aire.

Alimentaciones de animales.

Ensilaje de la pulpa:

Flórez y Rosales (2018) afirman que la pulpa se convierte en una opción alimenticia para los sistemas de producción pecuarios, en donde se busca reducir los costos de producción debido a la dependencia de los alimentos comerciales. Una manera de aprovechar este subproducto, es a través del ensilaje, que gracias a la fermentación se reduce la presencia de algunas sustancias no deseables como la cafeína y los polifenoles que en altas

concentraciones pueden afectar el bienestar de los animales. En los rumiantes de leche, se puede incluir en un rango del 20 al 40% del alimento balanceado sin afectar los indicadores productivos, y para animales en ceba hasta un 15%. En monogástricos, se puede incluir un 30% en peces, en aves y cerdos hasta en un 15%. De esta manera, la incorporación de pulpa de café en la alimentación de animales, es una alternativa económica, productiva y ambientalmente viable que conlleva a la sostenibilidad de la empresa pecuaria. La pulpa de café posee valores nutricionales muy similares a un forraje tropical de buena calidad.

El ensilaje es el método para preservar la pulpa de café, logrando un suplemento alimenticio que favorece significativamente en el consumo y ganancia de peso y por consiguiente ayuda al crecimiento y desarrollo de los diferentes animales que consumen este producto (Flórez & Rosales, 2018).

“La pulpa como tal es prensada hasta obtener el 60 o 65% de humedad, se vacía en los silos contruidos para este fin, luego se agrega de 3 a 5% de melaza de caña de azúcar con relación al peso de la pulpa vaciada. Los mejores resultados de ensilaje con la pulpa fresca al término de 72 horas de ensilaje. Una buena compactación para dar un buen ensilaje es aquella que lleva entre 60- 65 lb de pulpa por pie cubico”. (Armas et al, 2008)

La deshidratación de la pulpa de café es otra alternativa de conservación para ser utilizada como alimento animal. El mejor método de secado de la pulpa es cuando se usa el secador rotatorio, que presenta el menor costo por quintal de pulpa seca con pocas posibilidades de contaminación, se realiza en corto tiempo y se requiere de una menor área de secado. Una de las ventajas de ensilar la pulpa es que por medio de este proceso se producen

ácidos orgánicos y factores de crecimiento microbianos, a la vez que se destruye parte de la cafeína y los fenoles. (Armas et al., 2008)

Obtención de fenoles:

Serna et al. (2018) refieren que el tiempo y la temperatura ejercen un efecto significativo en la concentración de polifenoles en la pulpa de café seca. La pulpa de café seca tiene presencia de polifenoles, por lo cual aumenta su posibilidad de agro industrialización. En cuanto la superficie de respuesta para los fenoles totales, se determina que el tiempo y la temperatura ejercen un efecto significativo (p -value 0,005) sobre la cantidad de polifenoles extraídos en la infusión, a partir de la pulpa seca de café, es decir, a mayor tiempo y temperatura hay una mayor cantidad de poli fenoles extraídos. _Entonces el incremento de la temperatura pudo contribuir a la activación de enzimas que participan en la descomposición de algunos compuestos. Otro de los factores que intervienen en el proceso de extracción de este tipo de biocomponentes es el solvente, ya que, el tipo de compuesto a extraer depende del tipo de solvente empleado, por la capacidad que estos poseen, por ejemplo, es el agua la que favorece la obtención de compuestos fenólicos, ya que estos son más solubles y tienen mayor afinidad.

Noriega y García de Salcedo (citado por Pardo, 2016) piensan que la Producción de POLI-3-HIBROXIBUTARATO a partir de la pectina contenida en el mucílago de café. La extracción del mucílago de café en este tipo de producción de biopolímeros es esencial por el alto contenido de pectina, evidenciando rendimiento de 82 gr de pectina por cada 10 kg de mucílago, las cuales contienen 35,8% de sustancias pépticas totales, 45,8 % de azúcares medios y 17% de celulosa.

Proceso para la obtención de miel a partir del mucílago de café:

El proceso inicia cuando se transporta el mucílago del beneficiadero de café, luego pasa a un separador centrífugo por gravedad que maneja un caudal de 3000 litros/hora, el mucílago obtenido de la etapa anterior es atravesado por un tamiz de 0,4 mm para la preparación de materia prima con fines de alimentación animal, y por un tamiz de 0,1 mm para la alimentación humana. Con el fin de extraer la mayor cantidad de sólidos suspendidos, garantizando un producto puro y libre de elementos extraños, por la parte superior del separador salen los sólidos prensados y por su parte inferior el líquido extraído; al final pasa a unos tanques que son transportados a la planta de producción de miel, con una capacidad 10000 litros de mucílago, luego este subproducto es conducido a un proceso de tratamiento enzimático, sometido a un proceso de calentamiento a una temperatura que se encuentra en un rango de 50 °C a 80°C, para disminuir la carga microbiana, luego de disminuir la temperatura a 45°C se le adicionan 100 ppm de enzimas pectolíticas, actividad que se encarga de degradar la pectina contenida en el mucílago de café y de esta manera obtener la clarificación del mucílago, esta actividad es primordial ya que permite la ruptura de las paredes de las células vegetales favoreciendo la salida del agua en el proceso de evaporación. Lo que ocurre con la ruptura de las cadenas de las pectinas es ayudar a que se libere el agua natural contenida en el mucílago y al presentarse este evento se puede aumentar la concentración de los nutrientes en el proceso de evaporación y digestión. Por ultimo ingresa en un equipo en donde se realiza una deshidratación al vacío a temperaturas no mayores a 60°C. Este mucílago concentrado es lo que se conoce como la miel del mucílago. Este producto se utiliza como materia prima puede ser empleada en la producción de varios productos como alimentación de humanos, de animales, etanol,

entre otros; por su alto contenido de azúcares, proteínas y minerales los cuales resultan beneficiosos en la salud del consumidor. (Pardo, 2016, p.54-55)

Cafeína:

Armas et al. (2008) afirman que: “Se utilizan diversos solventes y métodos para extraer la cafeína de la pulpa de café fresca y seca, los cuales se listan a continuación:

- Percolación
- Extracción con agua a 25 °C
- Extracción con agua a 25°C y alcohol
- Extracción con alcohol

El proceso de percolación logra extraer la mayor cantidad de cafeína de la pulpa que con los otros métodos. Para lograr una extracción eficiente del alcaloide es preferible usar pulpa seca, por lo que para obtener el estado idóneo de utilización el contenido original de humedad (80 – 85%) debe pasar por el proceso de secado ya sea mecánicamente o al sol”

Hongos

Armas et al., (2008) definen que el proceso de obtención de los hongos es: “1. Preparación de la pulpa de café: Una vez finalizado el proceso de despulpado del café, la pulpa se apila piramidalmente de 3 – 5 días para que se fermente, cubriéndola con plástico para evitar la deshidratación y favorecer la fermentación. Luego, la pulpa se somete al proceso de pasteurización. Posteriormente se deja escurrir hasta alcanzar una humedad de 70 – 80%. Debe enfriarse a 30 °C para que esta pueda ser inoculada. 2. Inoculación del hongo en el sustrato: El hongo consiste en una masa algodonosa llamada micelio, el cual ha sido

desarrollado sobre semillas de trigo. Dicha masa con las semillas de trigo, deberá mezclarse con la pulpa de café, en bolsas de plástico, cerrándolas para evitar la deshidratación o contaminación. 3. Obtención de hongos: Dependiendo de las condiciones ambientales y de la cepa empleada, unos 14 a 25 días después de la inoculación, aparecerán los primordios de los hongos, estos quedarán completamente desarrollados en unos 4 a 6 días después”.

Armas et al. (2008) Aseguran que: “los hongos forman parte de los ingredientes principales en restaurantes de comida., también tiene aplicaciones medicinales, además menciona que las características de la materia prima para su procesamiento son: Una vez finalizado el proceso de despulpado del café, la pulpa se apila piramidalmente de 3 – 5 días para que se lleve a cabo el proceso de fermentación aeróbica, cubriéndola con plástico para evitar la deshidratación y favorecer la fermentación. Luego, la pulpa se somete al proceso de pasteurización sumergiéndola en agua caliente a una temperatura de 70 °C durante 30 minutos aproximadamente. Posteriormente se deja escurrir hasta alcanzar una humedad de 70 – 80%. Debe enfriarse a 30oC para que esta pueda ser inoculada”.

Unicelular

Armas et al. (2008) afirman que: “las levaduras son probablemente el organismo más utilizado para la producción de proteína unicelular, incluyendo *Candida utilis* una levadura que sintetiza sus productos a partir de compuestos muy simples, haciendo posible producir proteína unicelular utilizando sustratos de muy baja calidad. El sustrato empleado para obtener la proteína unicelular es el jugo de la pulpa de café, para obtener dicho jugo es necesario prensar la pulpa en estado fresco, ya que en este estado la pulpa no se ha fermentado y su concentración de azúcar es más alta y las levaduras utilizan estos azúcares para obtener su fuente de carbono”.

Pectina:

Armas et al. (2008) menciona que: “el Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE), estableció métodos para la obtención de pectinas a partir de la pulpa y del mucilago del café:

Método 1: El café maduro y despulpado, se restriega hasta desprender completamente el mucilago de la almendra. La pulpa se muele en un molino y se agrega al mucilago.

Método 2: La pulpa de café fresco se hierve en una solución de sulfito de sodio, se exprime el residuo y se cuela por un tamiz.

Método 3: Pulpa recolectada del mismo día se muele en un molino, se hierve en una solución de soda caustica y de sulfito de sodio y se agrega pulpa molida a la solución, se agita fuertemente. Luego se cuela la mezcla a través de un lienzo, exprimiendo en una prensa. El colado se deja en reposo hasta que solidifique por enfriamiento.

Método 4: Se hierve la pulpa fresca y molida en las condiciones descritas en el método anterior, en una solución de soda caustica y fosfato sódico tribásico. Se agrega la pulpa, se agita y luego se continúan con las mismas operaciones del procedimiento anterior.

Método 5: Pectinas acidas. Pulpa fresca y molida se hierve en una solución al uno por mil de ácido clorhídrico y cinco por mil de hexametáfosfato de sodio. Cuando la temperatura en la masa es superior a la del agua hirviendo, se exprime por lienzo rápidamente para evitar la coagulación.

Método 6: Pectinas del mucilago. Para extraer las pectinas se lava previamente el grano despulpado y desmucilagina rápido para impedir que la fermentación degrade las pectinas.

Método 7: Se acidifica el mucilago extraído a un pH2 inmediatamente después de la extracción, para reducir la separación enzimática. El material es centrifugado para separar las impurezas de las sustancias pépticas y luego se utiliza alcohol etílico para precipitar la pectina. La recuperación de las pectinas se logra por medio de filtración seguida de un secado a temperaturas bajas”.

Bacterias a base de pulpa y el dulce de la cereza de café.

Para lograr identificar los microorganismos que se encuentran en la pulpa del café según Payán es necesario realizar el siguiente procedimiento:

“De cada uno de los 500 gramos de la muestra de pulpa, se toman 10g y se adicionan a 90 mL de agua destilada estéril para realizar la solución madre, se agita vigorosamente para lograr una homogenización completa. Se realiza la siembra por superficie en Agar- Rosa de Bengala para hongos filamentosos y levaduras, Agar- Nutritivo para bacterias y hongos, y Agar-PDA para hongos filamentosos y levaduriformes tomando 0.1mL de la dilución 10-6 y adicionándole en cada una de las cajas, teniendo en cuenta de realizar el procedimiento por duplicado, la muestra se distribuye en la caja con rastrillo bacteriológico. El periodo de incubación para bacterias es de 24 a 48 horas, levaduras 96 horas y para hongos filamentosos 5 a 8 días. Después de obtener crecimiento de las colonias en cada una de las cajas se procede a realizar la purificación de las colonias. Se realiza la coloración de Gram para definir el tipo de microorganismo y se procede a realizar purificación de las diferentes colonias aislando bacterias, hongos levaduriformes y hongos filamentosos en Agar nutritivo, Agar Rosa de Bengala y Agar Papa Dextrosa respectivamente”. (2011, p. 37)

Biocombustibles

Rodríguez y Zambrano (2010) afirman que en la actualidad, el beneficio ecológico, las centrales de beneficio, las altas producciones de café por hectárea, aunado a una legislación

ambiental más exigente y a los altos costos de los combustibles y fertilizantes químicos, favorecen el aprovechamiento de los subproductos para la obtención de productos con valor agregado, entre los que figuran los biocombustibles.

Armas et al. (2008) refieren que: “la pulpa pueda ser utilizada como combustible cuando se tenga una humedad máxima de 25 a 30% cuando se mezcla con cascarilla pues esta tiene un 10% de humedad y dicha combinación alcanzara una humedad de equilibrio intermedia. Si se desea utilizar pulpa únicamente, esta debe secarse hasta un 12% de humedad, lo cual requiere de tres días de exposición al sol. Para secar la pulpa por medio de exposición solar, se recomienda extender la pulpa en una capa de 5 cm. de espesor. Este tipo de secado requiere mano de obra para el transporte y tratamiento de la pulpa (de 10 a 12 remociones de la capa de pulpa durante el ciclo de secado). El espacio de patio necesario para cada quintal de pulpa fresca es de 11 m² / día”.

Utilización como combustible directo. Se utiliza la pulpa seca como combustible para el secado mecánico del café (Rodríguez & Zambrano, 2010).

Producción de biogás.

El biogás se produce a través de diferentes prácticas, las cuales a continuación se describen:

Cuando el biogás se usa únicamente como fuente de calor, se quema en su estado original. Si se dispone de una instalación previa de gas natural o butano, basta con adaptar los quemadores a las características del biogás. Cada día cobra mayor

importancia el uso del biogás como tal en motores de combustión interna. Ello es debido sobre todo a que, con una utilización conjunta de la potencia y el calor desarrollado por el motor, este tipo de instalaciones permite un aprovechamiento de hasta un 90% de la energía contenida en el biogás. En algunas fincas de beneficio del café se dispone de tecnologías (secadoras de café) más eficientes y que requieren menos espacio que el secado tradicional al sol. Sin embargo en estos casos hay un incremento en los costos en el consumo de energía por el proceso de secado (10474,5 kcal por cada 250 kg de café), en estos casos puede ser recomendable utilizar la pulpa de café en procesos de digestión anaerobia. (Quintero, 2016, p.60)

Rodríguez y Zambrano (2010) aseguran que el biogás es una mezcla gaseosa constituida por metano, en una proporción que oscila entre 50% y 80%, y gas carbónico, con pequeñas trazas de vapor de agua, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, monóxido de carbono, nitrógeno, oxígeno y trazas de compuestos orgánicos; y se origina por la degradación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Se puede utilizar como combustible directo en sistemas de combustión a gas o para la producción de energía eléctrica, mediante turbinas o plantas generadoras a gas.

Armas et al. (2008) refieren que: “la producción de gas metano la realiza una población variada de microorganismos que fermentan la celulosa, los ácidos orgánicos y el alcohol. El gas metano producido en esta forma tiene grandes ventajas pues no es venenoso, no explota fácilmente y tiene un alto poder calorífico. Para producir gas metano con base en desperdicios agrícolas, consiste básicamente en una cámara cerrada en donde se almacenan dichos desperdicios para su fermentación; un tubo por donde se alimenta la planta y un tubo de salida del gas. La fermentación demora ocho días aproximadamente, dando como resultado final el

gas metano. Este gas obtenido, no es metano puro, sino una mezcla de hidrogeno, oxigeno, gas carbónico, gases inertes y un 55% de metano, aproximadamente.

Características de la materia prima para su procesamiento: Para efectuar la fermentación metanogenica, el jugo de pulpa de café se obtiene por medio de una prensa hidráulica manual a una presión de 120 a 127 Kg/cm² por seis minutos. El jugo obtenido se almacena en un cuarto de congelación a -10 oC, de donde se saca y descongela para su uso inmediato”.

Variables del proceso de digestión anaerobia:

Quintero (2016) refieren:

Que para que pueda desarrollarse el proceso se debe mantener unas condiciones ambientales y operacionales adecuadas, para ello se controlan diversos parámetros ambientales

-**pH**, que debe mantenerse cercano a la neutralidad.

-**Alcalinidad**, para asegurar la capacidad tampón y evitar la acidificación. Es recomendable una alcalinidad superior a 1,5 g/l CaCO₃.

-**Potencial redox**, con valores recomendables inferiores a -350 mV.

-**Nutrientes**, con valores que aseguren el crecimiento de los microorganismos.

-**Tóxicos e inhibidores**, cuya concentración ha de ser la mínima posible. (p.29)

Parámetros operacionales

Quintero (2016) hace referencia:

Que las condiciones de trabajo de los reactores son:

-Temperatura. Podrá operarse en los rangos psicrófilico (temperatura ambiente), mesófilico (temperaturas en torno a los 35° C) o termófilico (temperaturas en torno a los 55 ° C). Las tasas de crecimiento y reacción aumentan conforme lo hace el rango de temperatura, pero también la sensibilidad a algunos inhibidores, como el amoníaco. En el rango termófilico se aseguran tasas superiores de destrucción de patógenos.

-Agitación. En función de la tipología de reactor debe transferirse al sistema el nivel de energía necesario para favorecer la transferencia de sustrato a cada población o agregados de bacterias, así como homogeneizar para mantener concentraciones medias bajas de inhibidores.

-Relación inóculo sustrato (RIS). Estudios demuestran que la producción de metano es inversamente proporcional a la carga de sólidos volátiles de sustrato adicionada, ya que al aumentar la carga orgánica en el proceso se evidencia un nivel de saturación inicial en la digestión anaerobia. Esta saturación puede generar que los niveles de ácidos grasos volátiles se eleven, provocando un efecto de inhibición en los organismos anaerobios. Un valor óptimo de RIS en el proceso de digestión anaerobia asegura la presencia de los tres grupos de bacterias. (p.30)

La aplicación de la digestión anaerobia para la transformación de residuos orgánicos complejos ha demostrado ser un método de bajo costo, de menor necesidad de terreno, de alta eficiencia en la remoción orgánica, de reducción de la carga orgánica contaminante, de baja producción de lodos, y de producción de energía neta a través de la producción de biogás. (Quintero, 2016, p.33)

Para la producción de etanol hay diversos procesos, los cuales tienen diferentes pasos y materiales para lograr excelentes producciones, a continuación se describen los métodos:

Puerta (citado por Gutiérrez, Gómez e Imbachi, s.f.) piensa que los granos del café contienen el mucilago, están dispuestos para el proceso de fermentación a través de varios procesos, en donde se tienen en cuenta factores de temperatura ambiente, higiene, tiempo, equipos y sistema de fermentación. El compuesto formado por la fermentación del café depende de la calidad del sustrato, madurez y sanidad del fruto que influyen en la composición química y microbiológica de los granos despulpados. La obtención de etanol a través de la obtención de mucilago requiere tener un control en cuanto a su manejo una vez recolectado, la cantidad de mucilago en los granos de café depende del estado de madurez, debido a su humedad y tamaño. Durante ese proceso el mucilago adquiere más humedad, su contenido en ceniza no cambia, se degradan los compuestos pépticos y azúcares, generando un cambio en la composición química.

Gutiérrez et al. (s.f) refieren que en la producción de etanol, después de una clasificación del fruto y una fermentación adecuada con el sustrato necesario, regulando todos los factores característicos como el tiempo y el sistema fermentación.

Producción de bioetanol

Rodríguez y Zambrano (2010) aseguran que el bioetanol se obtiene por fermentación de medios azucarados hasta lograr un grado alcohólico, después de fermentación, en torno al 10% - 15%, concentrándose por destilación para la obtención del denominado “alcohol hidratado” (4-

5% de agua) o hasta llegar al alcohol absoluto (99,4% de pureza, como mínimo), tras un proceso específico de deshidratación. En estudios de fermentación alcohólica, utilizando varias cepas de levaduras, encontró un promedio de 25,17 ml de etanol, provenientes de la fermentación de 1 kg de pulpa fresca. Energía que por provenir del campo es renovable y tiene un gran valor económico en la actualidad, dada la inestabilidad de los precios de los combustibles provenientes de fuentes fósiles. Para obtener el etanol del mucilago generado por 1 ha/año, se requieren 861 MJ (cuando se obtiene sin agua) y 1.178 MJ (cuando se utiliza un volumen de agua de 1 L/kg c.p.s. en el desmucilaginador mecánico) y de la pulpa generada por 1 ha/año, se requieren 2.639 MJ, para un total entre 3.500 y 3.817 MJ.

Armas, et al. (2008) refieren que: “en CENICAFE, se han logrado los mayores rendimientos de alcohol, con el siguiente procedimiento: La cereza fresca se despulpa con el mínimo de agua. El grano se coloca en un tanque junto con el agua del despulpado, y se agrega más agua, si es necesario, para cubrirlo. Se añade una solución concentrada de soda caustica hasta obtener la proporción de 4% en el medio. Se agita lentamente hasta que el mucilago desprenda del pergamino, lo cual ocurre generalmente en 15 minutos. El rendimiento óptimo de alcohol solamente se logra inoculando la pulpa y los lavados con gran cantidad de levadura sacaromices. La fermentación procede rápidamente durante unas 48 horas. Sin embargo, se han logrado excelentes rendimientos si se agrega a los jugos hipoclorito de calcio al 1% y se dejan fermentar espontáneamente (interviniendo las levaduras de la pulpa). La destilación se hace en aparatos destiladores rectificadores comunes”.

López (2017) refiere que los mucilagos son llevados a esterilización en autoclave por 15 min a 120°C y 15 psi. Posteriormente, se inocula con la levadura previamente crecida y

ajustada la concentración (0,5 DO $\lambda= 600$ nm). Luego se lleva a incubación en condiciones de oscuridad a 30 °C, durante 36 horas, a 100 rpm.

La actividad de *S. cerevisiae*, es clara con residuos bajos en azúcares totales, y la dinámica de consumo se refleja igualmente en la producción de etanol. No obstante, los remanentes de azúcares aprovechables son inferiores a los mejores tratamientos (mucílago obtenido de proceso de Ecomill® con enzima y de Becolsub®, para el caso del mucílago obtenido a partir del tanque tina (cabezas de lavado 1 y 2) presenta una posibilidad de optimizar su uso. Las producciones de etanol, en términos generales, los tiempos máximos de producción están entre las 16 y 20 h de fermentación para los tratamientos con los mucílagos provenientes del Becolsub® (14 %), Ecomill® con enzima y cero horas de fermentación (11%) los de mayor producción respectivamente. Al final del tiempo de fermentación, el porcentaje de etanol disminuye; posiblemente se deba esto al incremento de crecimiento vegetativo en las primeras horas de fermentación pues la aparente mayor disponibilidad de azúcares reductores (principalmente de fructosa) provenientes de inulina y de la degradación del ácido galacturónico y glucosa como fuente adicional de la degradación de la pectina remanente en el mucílago (y no detectables) debida a la pectinasa adicionada como parte del proceso de desmucilaginado, hacen que posiblemente se active la producción de las enzimas propias de la levadura y agoten el sustrato disponible más rápido y se vea afectada la producción de etanol. (López, 2017, p.108)

López (2017) afirma:

Los procesos fermentativos son la etapa más importante de un proceso de producción de un metabolito de alto valor agregado para ser usado en la gama de

biocombustibles. En esta etapa, tres factores preponderantes han de ser considerados para garantizar la obtención de altos rendimientos de producto y estos son: el sustrato, las condiciones de operación y el microorganismo fermentador. (p.50)

La producción de etanol depende principalmente del tipo de sustrato, debido a que la presencia de microorganismos originada a partir del proceso de fermentación por el tipo de sistema (Ecomill® con fermentación de 20 h), es estadísticamente diferente antes de la esterilización, en comparación con el sustrato proveniente del Becolsub®, independiente si se esteriliza o no el sustrato. (López, 2017, p.102)

Rodríguez y Zambrano (2011) aseguran que el bioetanol se obtiene por fermentación de medios azucarados hasta lograr un grado alcohólico, después de la fermentación. Hay diferentes formas para realizar la producción de alcohol: se puede realizar con cuatro tipos de hidrólisis (natural, ácida, alcalina y enzimática) y cuatro inóculos de la levadura *Sachharomyces cerivisiae* (presente de forma natural en el mucílago, dos levaduras prensadas comerciales y una levadura seca comercial), para favorecer los procesos de hidrólisis y fermentación del mucílago de café. El mucílago se utiliza con menos de dos horas de generado; la hidrólisis ácida se realiza con ácido sulfúrico 0,2 mol.L-1, la hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio 0,25% y la hidrólisis enzimática con una enzima pectinolítica a una concentración de 1.200 ppm.

Guzmán (2014) afirma:

Los pasos que utilizan para los diferentes procesos de tratamiento, inoculación, fermentación y destilación del mucilago de café para la obtención de etanol en la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro del Sena Pitalito Huila son:

Protocolo para la producción

I. Obtención del mucilago: Es recomendable obtener el mucilago de los granos más maduros, pues la cantidad de mucilago en un grano maduro esta alrededor del 27%, en un grano verde es de 1.3%, en uno pintón es de 8.4% y en uno sobre maduro es de 23%.

II. tratamiento previo del mucilago:

1. Medir los grados Brix, para determinar el porcentaje de azucares que se convertirán en alcohol y de esta manera estimar la cantidad de etanol que se obtendrá.

2. Tamizar el mucilago tres veces, una vez con un filtro de 80 mesh para eliminar las partículas más grandes como cascarillas y trozos de hojas y tierra; una segunda vez con un filtro de 120 mesh para eliminar las partículas más pequeñas y una tercera vez con un filtro de 160 mesh para eliminar los sedimentos que puedan obstruir las válvulas o tuberías, esto debe realizarse agitando el mucilago manualmente y removiendo los materiales sólidos, para eliminar los grumos y sobrantes de cascarilla que pueda contener, este proceso debe realizarse durante la recolección, ya sea al recogerlo directamente del desmucilagador o antes de vaciarse en los recipientes herméticos con dispositivos de fuga de gas, que deberán sellarse luego del llenado.

3. Calcular el volumen con ayuda del medidor de los tanques, para determinar la cantidad de levadura a inocular, dejándolo así, listo para la inoculación y fermentación.

III. Filtrado del mucilago: En este proceso el mucilago pasa del tanque de almacenamiento a la pasteurizadora por el filtro prensa, para eliminar los sedimentos que pueda contener aun, que puedan taponar las válvulas o tuberías.

1. Ajustar la prensa manual del filtro.
2. Abrir la válvula de salida del tanque de almacenamiento.
3. Encender el filtro.
4. Purgar la válvula de presión ubicada en la parte superior del filtro prensa.
5. Abrir la válvula de ingreso del filtro prensa.
6. Apagar y cerrar la válvula de ingreso del filtro prensa.
7. Cerrar la válvula de salida del tanque de almacenamiento.

IV. Apagado y limpieza del filtro prensa: Luego de terminado el proceso de filtrado se deben lavar el tanque de almacenamiento y el filtro prensa para evitar que los residuos se adhieran a las tubería y válvulas.

1. Llenar el tanque con agua limpia hasta un cuarto y frotar su interior con una escobilla.
2. Llenar nuevamente el tanque hasta un cuarto con agua limpia y pasar por el filtro prensa
3. Realizar el proceso de filtrado
4. Apagar el filtro prensa.
5. Desajustar manualmente la prensa.
6. Retirar los filtros y lavarlas con abundante agua.
7. Regresar los filtros a su lugar y ajustar la prensa.

V. Pasteurización del mucilago: La pasteurización debe realizarse antes de la inoculación para lograr un mayor aprovechamiento de las levaduras, evitando que los parásitos y bacterias interfieran con la fermentación. En este proceso el mucilago pasa a los tanques de fermentación, por la pasteurizadora, donde se libera de parásitos y bacterias que puedan interferir con el proceso de fermentación. Para realizar este proceso se calienta la caldera hasta alcanzar una presión de 100 PSI, para que esta caliente la torre de calentamiento hasta 120 °C y encender la torre de enfriamiento para que esta enfríe la torre de enfriamiento de la pasteurizadora y así se genere el cambio de temperatura que eliminara las bacterias.

1. Calentar la torre de calentamiento el mucilago hasta que alcance una temperatura de 120 °C.
2. Abrir la válvula de ingreso de la pasteurizadora.
3. Alimentar el mucilago a 5 litros por minuto.
4. Enviar el mucilago a los tanques fermentadores para posteriormente ser inoculado.

VI. Paso del mucilago de la pasteurizadora a los tanques de fermentación:

1. Asegurarse que los tanques fermentadores estén bien sellados, para mantener el ambiente anaeróbico necesario para el proceso de fermentación.
2. Sumar los litros contenidos en los diferentes tanques recolectores para poder de esta manera hallar el volumen total de mucilago introducido a los tanques de fermentación y así calcular la cantidad de levadura a inocular.

VII. Activación de la levadura:

1. Calcular la cantidad de levadura a inocular multiplicando el volumen del mucilago por 35 que es el porcentaje de levadura al que se debe inocular.
2. Multiplicar el resultado obtenido anteriormente por 6 partes de agua.
3. Mezclar calentar a 35 °C por 5 minutos.

VIII. Inoculación del mucilago: el porcentaje de inoculación de levadura que más contribuye a elevar los niveles de alcohol durante la fermentación es de 35%. Se utiliza la levadura *Saccharomyces cerivisiae*. Para llevar a cabo la inoculación sin interrumpir o alterar el proceso de fermentación, abriendo los tanques se sugiere la adaptación de un tubo de PVC de una pulgada (1”), en la parte superior del tanque, por donde se pueda inocular la levadura, previamente activada en el laboratorio

1. Introducir la cantidad de levadura previamente activada de acuerdo al volumen del mucilago.
2. Encender el motor agitador para que este mueva las aspas dentro de los tanques para disolver la levadura y mezclarla bien evitando a formación de grumos.

IX. Fermentación del mucilago: se recomienda fermentar el mucilago por 5 días, en condiciones anaeróbicas, agitando entre 1 y 2 veces al día con ayuda del motor agitador, para evitar la sedimentación dentro de los tanques. La temperatura recomendable para lograr una óptima fermentación esta entre los 29 °C y 31 °C.

X. calentamiento de la caldera:

1. Subir el break del tablero de control de la caldera.
2. Verificar que la válvula de desagüe del tanque hidratador esté cerrada.

3. Verificar que el tanque del agua este lleno y que la válvula de paso de agua del tanque a la caldera este abierta.
4. Verificar que la válvula grande de liberación de presión de la caldera esté cerrada y la válvula pequeña de purga este abierta, esto para comprobar la generación de vapor.
5. Verificar que el ciclón y el horno estén limpios y libres de cenizas.
6. Verificar que la alarma de la falla de agua esté apagada (esta es la que indica cuando el tanque hidratador se está quedando sin agua).
7. Verificar que el automático de la bomba de llenado de agua este encendido, garantizando el paso constante de agua asía la caldera para generar vapor.
8. Verificar que el tiro inducido este apagado, para evitar el exceso de llamas en el horno.
9. Alimentar el horno con leña seca y encenderlo
10. Calentar el horno por 20 minutos.
11. Comprobar que salga vapor por la válvula de purga para verificar la generación de presión.
12. Cerrar la válvula de purga.
13. Mantener la temperatura constante.
14. Verificar que la caldera alcance una presión constante de 40 PSI, que se deben mantener durante todo el proceso de destilación.

XI. Encender la torre de enfriamiento:

1. Abrir la válvula de llenado de agua.
2. Llenar la torre de enfriamiento, hasta el tope del ventilador.

3. Purgar la bomba de enfriamiento.
4. Conectar el cable de energía de la bomba.
5. Encender la bomba, pulsando el botón verde que está al lado de la bomba.
6. Verificar que el paso de agua de la torre al sistema de destilación este abierto.

XII. Encender el tablero de control y los equipos electrónico: Encender el tablero de control y los interruptores de las bombas de alimentación y reflujo.

XIII. Preparación del sistema de destilación: Una vez se haya alcanzado una presión de 40 PSI en la caldera se procede a calentar las torres despojadora y rectificadora abriendo el paso de vapor hacia el sistema de destilación.

1. Verificar que las válvulas individuales que permiten el paso del vapor desde la caldera a las torres despojadora y rectificadora estén cerradas.
2. Verificar que la válvula de la rectificadora esté cerrada.
3. Comprobar el paso de vapor hacia el sistema de destilación abriendo la válvula pequeña ubicada debajo de la válvula de paso hasta que deje de salir agua.
4. Cerrar la válvula de purga.
5. Girar la válvula de paso de vapor 11 grados para permitir el paso de vapor al sistema de destilación.
6. Girar 45 grados las válvulas de las torres despojadora y rectificadora, para permitir el paso de vapor a cada una.
7. Supervisar constantemente la temperatura de los fondos y las cimas de cada torre.
8. Esperar a que la torre despojadora alcance una temperatura en la cima de 75 °C, para facilitar la separación de los sedimentos, los líquidos y el etanol.

9. Esperar a que la torre rectificadora alcance una temperatura en la cima de 85 °C, para aumentar la deshidratación del etanol por evaporación.

10. Mantener constante la temperatura de las cimas de cada torre.

11. Vaciar constantemente los fondos del sistema de destilación, abriendo las válvulas ubicadas debajo de las torres despojadora y rectificadora.

XIV. Alimentar el sistema de destilación: Una vez se logre estabilizar y mantener la temperatura de las torres despojadora y destiladora se puede introducir el mucilago en el sistema de destilación.

1. Abrir la línea de alimentación que permite el paso desde los tanques de fermentación al sistema de destilación.

2. Abrir la válvula del tanque de fermentación que contenga el mucilago.

3. Purgar la bomba de alimentación.

4. Abrir la válvula de alimentación de las torres a 2 litros por minuto para permitir que la temperatura de las torres permanezca constante a pesar del ingreso del mucilago frio.

XV. Iniciar la destilación: se debe garantizar que la temperatura de las cimas de las torres este estable y se mantenga constante.

1. Verificar constantemente la temperatura de las cimas de las torres despojadora y rectificadora para evitar que desciendan o se eleven; estas temperaturas deben mantenerse por encima de 75 y 85 °C respectivamente en cada torre.

2. Vaciar constantemente los fondos de las torres para eliminar los excesos de agua.

3. Realizar el reflujo, una vez se observe en los visores que se ha obtenido etanol.

4. Vaciar los condensadores para obtener el producto final, que posteriormente será rectificado nuevamente en el laboratorio, para elevar el porcentaje de alcohol.

XVI. Limpiar los equipos: Es importante limpiar los quipos luego de terminar la destilación para evitar que los sedimentos y residuos se adhieran a las tuberías, las bombas o a los demás equipos.

XVII. Apagado de equipos:

1. liberar la presión de la caldera y cerrar nuevamente las válvulas de purga y liberación de presión.
2. Apagar la bomba de llenado de agua y el tablero.
3. Bajar el break.
4. Cerrar la válvula de paso de agua del tanque a la caldera.
5. Verificar que el tiro inducido este apagado.
6. Cerrar la válvula de llenado de la torre de enfriamiento.
7. Apagar la bomba de enfriamiento.
8. Apagar la torre de enfriamiento presionando el botón rojo ubicado al lado de la torre.
9. Desconectar la torre de enfriamiento.
10. Cerrar las válvulas de alimentación de vapor de las torres despojadora y rectificadora.
11. Purgar la válvula de alimentación de vapor del sistema de destilación.
12. Cerrar la válvula de alimentación de vapor del sistema de destilación.
13. Apagar las bombas de alimentación y reflujo.

14. Apagar el tablero y cerrar los suiches.

15. Verificar que todos los equipos estén apagados y las válvulas estén cerradas.

Los tiempos de fermentación es de 1 a 2 días mínimo y 6 a 8 días máximo, paso a un estándar óptimo de 120 horas o 5 días, donde la producción de alcohol alcanza su pico más alto y luego de lo cual empieza a descender. (p. 68-76)

Para lograr una óptima producción de etanol es necesario ejecutar los pasos de producción correctamente y con precaución, también se requiere una correcta maduración de los granos y utilizar los elementos indicados (Guzmán, 2014).

Blandón, Castillo y López (2018) aseguran que para elaborar el etanol se debe tener en cuenta:

Se realiza esterilización de todos los recipientes a utilizar en la experimentación.

Se mide la materia prima y los aditivos: Se utilizan dos erlenmeyer de 1 litro, el total de materia prima utilizada son 20 litros de mucílago fresco y 20 litros de mucílago fermentado, además se adiciona el 1% de levadura (*Sacharomyces Cerevisae*).

El mucílago que se pasteuriza, llega a una temperatura de hasta 70 °C. Se enfría hasta 30 °C y se adicionaba la levadura y se procedía al envasado, para llevar a cabo la fermentación por 24 horas, a temperatura ambiente y condiciones anaerobias. Posteriormente, se realiza una destilación simple, para obtener el alcohol y por último, se hizo la medición de volumen de alcohol obtenido, que consiste en medir el volumen de destilado que se condensa.

Payán (2011) afirma: “El hábitat natural es el suelo y el agua, de las *Klebsiellas*. Desde el punto de vista industrial, *Klebsiella oxytoca* muestra gran potencial como degradador de material lignocelulósico para la producción de etanol” (p.47).

Castillo, Muñoz, Pantoja y Portilla (2018) asegura que las siguientes son las condiciones que se usan para la producción de etanol:

- Se utiliza pulpa fresca, con menos de 1 h de generada.

La hidrólisis ácida se realiza con ácido sulfúrico concentrado (17,4 ml kg de pulpa-1) y se adiciona Na_2SO_3 (22,5 g kg de pulpa-1). Luego, el material se somete a baño agua maría durante 20 min.

- La hidrólisis alcalina se realiza con hidróxido de so-dio al 32% (20 ml kg de pulpa-1) y se adiciona Na_2SO_3 (22,5 g kg de pulpa-1). Posteriormente, el material se somete a baño agua maría durante 20 min.

- El pre-tratamiento biológico se lleva a cabo en utilización del hongo *Pleurotus ostreatus*, se emplea una tasa de inoculación del 15%, el material se somete previamente a un proceso de selección y adecuación y a partir del uso de un invernadero se proporcionó un microclima con la finalidad de llevar el registro de algunas de las variables ambientales (temperatura y humedad relativa) según lo requería cada etapa de crecimiento del hongo. Para el proceso de fermentación alcohólica se utiliza una relación de 1,5 L de agua por 1,0 kg de pulpa fresca. El pre-tratamiento biológico, alcanza mayor porcentaje de remoción, pues, los hongos de la pudrición blanca gracias a su actividad enzimática sobre la pulpa de café actúan ejerciendo una alta despolimerización de la lignina, favoreciendo el proceso fermentación alcohólica.

Hernández y Ulloa (2019) refieren que para eliminar microorganismos que puedan influir en el porcentaje de azúcares reductores se debe pasteurizar el mosto. Para el tiempo de hidrólisis, la cantidad máxima de azúcares reductores se alcanza a un tiempo de 2 horas después de iniciar la hidrólisis, a medida que aumenta la cantidad de grados brix. Con este proceso se busca aumentar la concentración de azúcares reductores. La cantidad de azúcares reductores que se obtienen al final del proceso se pueden utilizar para la generación de bioetanol de segunda generación. Para aumentar la concentración de azúcares, se realiza una hidrólisis enzimática en la cual se utilizan las enzimas CellicHtec2 y CellicCtec2 evidenciándose el aumento de 10,0 Grados Brix a 12,2. Después de obtener el hidrolizado se realiza la fermentación. El consumo de azúcares en un tiempo de 20 horas se estabiliza, durante la fermentación. De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis a nivel de laboratorio del agua miel, se puede confirmar que a partir del mucilago de café se puede obtener bioetanol de segunda generación, debido que se puede mejorar el porcentaje de sacarosa realizando una hidrólisis enzimática y fermentación pasando de 4 grados brix a 12 grados brix.

Rodríguez y Zambrano (2011) aseguran que se recomienda no realizar hidrólisis al mucílago de café, durante la fermentación alcohólica, así como la utilización de levaduras secas instantáneas, por su mayor vida útil respecto a las prensadas, como inóculo en el proceso de fermentación alcohólica del mucílago de café. Los mejores tratamientos para la obtención de etanol a partir del mucílago de café son los que no se someten a hidrólisis y se inoculan con levaduras comerciales; por facilidades de proceso y costos se recomienda utilizar el mucilago sin hidrólisis e inocularlo con levaduras secas, por la facilidad de manipulación y la mayor vida útil de ésta.

Castillo et al. (2011) refieren que los subproductos de la agroindustria del café, pueden adquirir un valor económico agregado si se desarrollan prácticas sostenibles y productivas sobre el mismo, ya que en promedio, la generación de este residuo corresponde al 45% del total del fruto fresco, el cual presenta características favorables, para el crecimiento del hongo comercial *Pleurotus ostreatus*

Bebida fermentada

Guerrero y Moreno (2010) afirman que es factible la producción técnica de una bebida fermentada a partir de pulpa y mucilago de café. Las condiciones o requerimientos para la fermentación no son especiales, solo se debe tener en cuenta la asepsia con la que se trabaja. Las etapas a nivel general para la obtención de la bebida fermentada de pulpa y mucilago de café son: Obtención de la pulpa y mucilago, pesaje de las materias primas a utilizar, una preparación del inóculo, etapa de fermentación, trasiegos para eliminar residuos sólidos, filtraciones, embotellado y pasteurización. Los parámetros que permiten obtener una bebida fermentada óptima, son de la siguiente manera: pulpa de café empleado 200 g/L, azúcar empleada 350 g/L y levadura 0,3 g/L. Lo que significa que se debe emplear las variables de café y azúcar a nivel alto y la variable levadura a nivel bajo. La obtención de la pulpa y el mucilago para el aprovechamiento mediante la elaboración de una bebida fermentada es: se procedió a realizar una desinfección de los granos con una solución de hipoclorito a 100 ppm, realizando un lavado exhaustivo con agua ozonizada después de la inmersión en la solución clorada, con el fin de evitar que queden trazas remanentes de cloro, el cual puede entorpecer el desarrollo de las levaduras. La pulpa y el mucilago, fueron extraídos de manera manual, de tal manera que quedaron separados de los granos y fueron colocados en recipientes metálicos para ser pesados y posteriormente añadidos a los biorreactores.

Guerrero y Moreno (2010) afirman que la preparación del inóculo para la aprovechamiento de la pulpa y el mucilago de café mediante la elaboración de una bebida fermentada es: Como actividad preliminar a la fermentación en los biorreactores, se realizó la preparación de los inóculos de levadura para cada experimento, una vez esterilizados los materiales y utensilios, se procedió a preparar el medio de cultivo consistente de caldo nutritivo (OXOID) en erlenmeyers de 250 cc, usando 3 g/L de este en 100 cc de agua destilada. El erlenmeyer fue llenado con el agua, se agrega el caldo nutritivo en polvo y fue colocado en una estufa eléctrica hasta que dé inicio la ebullición del caldo, seguido, se esterilizó en autoclave a 15 Psi y 121 °C durante un tiempo de 15 minutos. Una vez la temperatura del caldo disminuyo a 38 °C, se procedió a inocular el caldo con la levadura, cada muestra de inóculo fue colocada en la incubadora a 30 °C durante 12 horas tiempo en que se lleva a cabo la activación completa.

Puesta en marcha de los biorreactores: Para dar inicio a la fermentación, se procedió de la siguiente manera: se colocó agua dentro del biorreactor, hasta un volumen de 2 litros, se agregó el azúcar lentamente con agitados para facilitar su disolución, en seguida se añadió la pulpa y mucilago, posteriormente se procedió a llenar con agua hasta obtener un volumen de 4 litros y finalmente se inculó con la levadura activada. Cada biorreactor fue cerrado herméticamente empleado tapas metálicas, para asegurar que no existieran fugas de CO₂ se selló con silicona líquida las diferentes uniones que existían: la unión de la tapa, las uniones de los corchos de caucho, y las uniones de las mangueras. Adicionalmente se aplicaron varias capas de cinta de teflón, y por último se hizo un recubrimiento con neumático esterilizado. La fermentación se llevó a cabo, bajo condiciones ambientales de temperatura, en lugar oscuro. El tiempo de fermentación total de todos los biorreactores fue de aproximadamente de 25 días con +/- 2 días.

Filtraciones: Esta operación se realizó con el fin de retirar impurezas de menor tamaño presentes en las diferentes muestras de la bebida fermentada. Para llegar a un óptimo filtrado se procedió de la siguiente manera:

Filtración por medio de un telar: Se pasó cada muestra a través de una tela de nylon con un diámetro de poro de 20-50µm, esta tela retuvo gran cantidad de residuos sólidos presente en las muestras. **Filtración al vacío:** Posteriormente cada muestra se filtró a vacío, empleando un kitasato en vidrio con capacidad de 500ml y una bomba de vacío marca DOSIVAC modelo OVR de 1/3 HP. **Embotellado de las muestras:** Como etapa final de la obtención de la bebida fermentada se procedió a embotellar los diferentes licores obtenidos en botellas de vidrio esterilizadas con capacidad de 750 ml.

Guerrero y Moreno (2010) concluyen que para el aprovechamiento de la pulpa y el mucilago de café (*Coffea arabica*) se propone elaborar una bebida fermentada a partir de los componentes del fruto del café. El efecto de la pulpa y mucilago de café, muestra una tendencia a influir mejor sobre el porcentaje de alcohol en los niveles inferiores. Es pertinente reconocer el aporte de nutrientes que hace la pulpa y el mucílago de café a la levadura, lo cual pudo influir en el aprovechamiento del azúcar. El efecto de la pulpa y mucílago del café aunque no es significativo, muestra un efecto positivo, sobre la producción de gas, confirmando que estos elementos tienen un aporte considerable sobre la fermentación. El efecto de la pulpa y mucílago de café, tiene un resultado marcado y claro, en este sentido desde el nivel inferior se observa un efecto positivo sobre la producción de alcohol, y mejora en cuanto aumenta la cantidad de estos elementos, debido a que la pulpa y el mucílago aportan elementos necesarios para una adecuada fermentación por parte de las levaduras que aprovechan los nutrientes y forman alcohol a partir de azúcares presentes y por consiguiente un desprendimiento apreciable de gas carbónico. Estos componentes del fruto del café, actúan sobre la levadura para que esta aproveche los azúcares y se produzca etanol y CO₂. Las

características organolépticas de la bebida fermentada, son satisfactorios, ya que tiene buen sabor, olor color brillo dulzor y grados de alcohol presentes en las bebidas.

Productos resultantes de los residuos (pulpa y mucílago) de la poscosecha del café

Con la transformación de la pulpa y el mucilago del café, se logra productos que son muy útiles y beneficiosos para el desarrollo y crecimiento de los cultivos. Por eso es importante reconocerlos para darle un buen aprovechamiento y obtener una mejora y sostenibilidad en la agricultura. Cada uno de los productos obtenidos tiene buenas características que buscan beneficiar a los cultivos y al medio ambiente y por consiguiente logran la sostenibilidad en la producción agrícola. A continuación se realiza la descripción de los productos que resultan de la transformación de los residuos de la poscosecha del café:

Aplicación directa:

“La pulpa de café se usa como fertilizante orgánico en las plantaciones de café. Se usan diferentes métodos, siendo uno de ellos la aplicación de pulpa fresca directamente de los pulperos a los cafetos” (Armas et al., 2008).

Capera y Sánchez (2018) afirman que en la vereda Tabacal y Betania del municipio de Pitalito departamento del Huila los usos que le dan a la pulpa son: cascara del café en la finca

el 54% aplica al cultivo de café directamente, el 20% aplica a la huerta directamente y el 26% realiza el manejo adecuado mediante la fosa reglamentaria para producir abono orgánico.

Cisneros et al. (2017) afirman que la aplicación de pulpa de café descompuesta con y sin roca fosfórica y microorganismos, favorece la disponibilidad de fósforo, reflejándose en el crecimiento de las plántulas de café. La adición de pulpa de café descompuesta al suelo *Typic Melanudand*, en presencia o ausencia de Roca Fosfórica, incrementa la cantidad de materia orgánica y el pH, mejorando la disponibilidad de fósforo. Los microbianos solubilizadores de fosfatos *Kocuria sp.*, *B. subtilis*, *S. diversispora* y *P. ochrochloron*, se adaptan a la rizósfera de plántulas de café (*Coffea arábica*, variedad Castillo) e incrementan la disponibilidad de fósforo en el suelo (*Typic Melanudand*), mezclado con pulpa de café.

Cervantes, Ponce de León, Balmaseda, Cabrera y Fernández (2015) afirma que la pulpa de café puede ser usada como un compuesto mejorador de la estructura edáfica ya que en las tres unidades suelos (suelos Acrisol Alúmico Crómico (AAC), Cambisol Éutrico Húmico (CEH) y Cambisol Éutrico (CE), aumentan la agregación de las fracciones, principalmente las de 5 y 3mm, evidencian disminución de los contenidos de partículas dispersas menores de 0,25 mm y aumentan el peso promedio de cada uno de los conglomerados agronómicamente útiles. La pulpa de café libera a los medios elementos cementantes orgánicos como lignina, celulosa, proteínas, resinas y ceras que juegan un papel decisivo en la estabilización directa de la estructura al integrar los constituyentes de la fase sólida en conglomerados con propiedades físicas diferentes.

Cervantes et al. (2015) afirman que la adición de la pulpa incrementa significativamente los microorganismos de alta eficiencia metabólica (hongos y actinomicetos)

que estabilizan las pérdidas de carbono respiratorio (CO₂). La tasa mineralización se reduce de forma significativa, lo que indica que la relación carbono nitrógeno (16:1) y los precursores de las sustancias húmicas presentes en la pulpa (celulosa y lignina) ejercen resistencia a la degradación microbiana y aseguran la permanencia de los compuestos orgánicos en el suelo. La respiración basal edáfica y la tasa de mineralización muestran resultados favorables en las unidades de suelos con mejor estructura (Acrisol Alúmico Crómico), lo que sugiere que la intensidad de respuesta de la microflora ante la aplicación de pulpa de café va a estar influenciada por las características físicas y pedogénicas de los perfiles edáficos.

Giraldo, Niño y Viancha (2017) aseguran que en la mayoría de las fincas se deja caer la pulpa directamente al suelo, para, posteriormente, recogerla por medios mecánicos o manuales; sin embargo, quedan residuos de pulpa en el suelo que se acumulan. En esta operación ninguna de las fincas utiliza agua para transportar el café en cereza a la despulpadora; este proceso se realiza por medio de gravedad o sistemas que no implican la utilización de agua. La pulpa del café la aprovecha la totalidad de los productores, en lo cual los mismos dueños de las fincas son quienes realizan el manejo y transporte de la pulpa, y son una o dos personas las encargadas de este proceso, ya sea al sitio de almacenamiento de subproductos, o directamente a los cultivos. Para el transporte de la pulpa, utilizan palas y baldes, y algunos de los productores utiliza el almacenamiento temporal de pulpa y mucílago del becolsub, así como un tornillo sinfín para su transporte. La pulpa en descomposición genera lixiviados que se filtran al suelo. Para el manejo de la pulpa, se cuenta con sitios de almacenamiento, contruidos con muros de ladrillo o guadua y pisos de concreto, y, en algunos casos, techados. Sin embargo, gran parte de los productores carecen de una infraestructura para el almacenamiento de la pulpa, lo cual genera contaminación y mal manejo de lixiviados, lo que afecta las fuentes hídricas, provoca bajo aprovechamiento del potencial nutricional y plagas.

Abono orgánico.

Moreno y Romero (2016) aseguran que el abono orgánico es todo material de origen orgánico utilizado para fertilización de cultivos o como mejorador de suelos. Se incluye dentro de los abonos orgánicos materiales como la gallinaza, la pulpa de café, coberturas, compost y ácidos húmicos. El sistema tradicional, más conocido en la zona cafetera para la transformación de la pulpa en abono orgánico, ha sido el compostaje que es la descomposición en fosas y el lombricompostaje que acelera el proceso de transformación de este subproducto.

Armas et al. (2008) refieren que: “el abono orgánico es el producto de la descomposición aeróbica de materiales orgánicos tales como los desechos agrícola de origen vegetal y los desechos de los animales domésticos. La descomposición aludida se lleva a cabo por la actividad de microorganismos naturalmente presentes en la materia prima en presencia de aire, es decir aeróbicamente”.

Características del abono orgánico.

-Proporcionan buenas características químicas, físicas y biológicas al suelo y además ayuda a la formación del suelo

-Abastecen de elementos nutritivos a las plantas, tales como: carbono, nitrógeno, fosforo, potasio y magnesio.

-Aporta al suelo un número importante de microorganismos y es una fuente nutritiva para ellos (Armas et al., 2008).

Escobar et al. (2013) mencionan que los abonos orgánicos son una alternativa viable y sostenible en condiciones de campo. Los abonos orgánicos se aplican en la siembra y en la etapa de prefloración. La riqueza de macronutrientes en el compost puede atribuirse a la presencia de gallinaza y pulpa de café. El cultivo de maíz tiene mayor crecimiento en la etapa vegetativa, con la mezcla pulpa, hojarasca, banano, gallinaza. El tratamiento que genera mayor rendimiento en el maíz es la mezcla de pulpa, hojarasca, gallinaza, bovinaza debido a su composición que son fertilizantes orgánicos relativamente concentrados y de rápida acción y sus nutrientes se encuentran como compuestos asimilables por la planta.

Por su alto contenido en diferentes tipos de azúcares, este subproducto (mucilago) es un excelente medio para la elaboración de biofertilizantes enriquecidos con minerales, y así llegar a ser utilizado en los cultivos del propio café y del plátano. En la preparación del abono orgánico tipo bocashi, se recomienda usar el mucílago o aguas mieles directamente, sustituyendo al máximo volumen de agua que se desee. El mucílago es un buen sustrato para el crecimiento de hongos, bacterias y otros microorganismos benéficos y deseables para la recuperación de la vida en los suelos que se encuentran agotados por el maltrato provocado por algunas de las prácticas utilizadas en la agricultura convencional. (López, 2017, p.48)

Blandón et al. (2018) aseguran que la producción de abono orgánico tiene un costo menor que el comprar fertilizante líquido comercial, además el mucilago es un inductor de crecimiento para las plantas, lo cual favorece el desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Compost.

Suárez (2012) afirma:

El compost es un proceso biológico más utilizado para transformar los residuos orgánicos sólidos por medio de la descomposición en un material estable donde no se distingue ninguno de sus compuestos y es conocido como abono natural. Tiene las características de tierra humus y es rico en minerales fertilizadores. El proceso del compostaje se puede acelerar con medidas mecánicas mezcla, revuelta, aireación, riego. (p.45)

Escobar et al. (2013) aseguran que el compostaje es una tecnología ecológica, la cual constituye una vía para la reutilización y biotransformación de materiales orgánicos así como su posterior aplicación en suelos. La calidad de un abono orgánico se determina a partir del contenido nutricional y de la capacidad de proveer nutrientes a un cultivo.

Moreno y Romero (2016) refieren que el compostaje es la descomposición de la pulpa en fosas, estas son construcciones en las cuales ocurre la transformación de la pulpa en compost.

Fosas.

Los espacios adaptados para el almacenamiento de la pulpa de café por los medianos y grandes cafeteros se conocen como fosas que eventualmente se convierten en estrategias para evitar las posibles sanciones por las entidades estatales. Curiosamente los materiales orgánicos sólidos contenidos en estas fosas no se utilizan en la mayoría de casos, cuando por su alto contenido de materia orgánica pueden ser

aprovechados en múltiples aplicaciones. (Pardo, 2016, p. 27)

Es muy importante y de gran ayuda incentivar en el sector de la agroindustria cafetera la adaptación de buenas prácticas del manejo de las pulpas, así como la adición del mucílago en el proceso de compostaje. De esta manera se fortalecen los ciclos productivos, pues se emplean todos los subproductos del proceso y al mismo tiempo se conserva y protege el medio ambiente. (Pardo, 2016, p. 29)

Rodríguez et al. (2013) afirman que el sistema tradicional que se ha utilizado para el manejo de la pulpa ha sido la descomposición en fosas, construcciones en las cuales ocurre la transformación de la pulpa en compost, para lo cual se requiere de algunas operaciones de manejo, que radican fundamentalmente en volteos periódicos de la masa, que se deben efectuar cada 15 días, para lograr su transformación en aproximadamente 4 meses.

El lombricultivo.

Botero y Betancur (2012) afirman que la lombricultura es el cultivo intensivo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en residuos orgánicos, para obtener lombricompost (humus).

El lombricompost o humus se utiliza: en la preparación del sustrato para sembrar los almácigos, en la siembra de plántulas en el campo, como complemento en la fertilización y

mejora las condiciones físicas del suelo; Todos estos son factores que representan manejo eficiente de los recursos del caficultor. (Rodríguez et al., 2010).

Quintero (2016) refiere:

Que la lombriz más adecuada para la práctica de la lombricultura, es la Lombriz Roja (*Eisenia foetida*) perteneciente al género de las Epigeas. Se utiliza esta especie por su rusticidad, capacidad de apiñamiento y confinación, además tolera amplios rangos de pH, humedad y temperatura. A diferencia de la lombriz de tierra come, con mucha voracidad, todo tipo de materia orgánica bien de origen doméstico o agropecuario (estiércoles, rastrojos de cultivos, residuos de hortalizas y frutas, malezas, etc.). Como la mayoría de las lombrices Epigeas se alimentan de bacterias, hongos, actinomicetos, algas microscópicas y protozoos, que se producen de forma natural en los procesos de descomposición de la materia orgánica. Es capaz de digerir diariamente su propio peso y excretar un 60% de excelente abono, el humus de lombriz o lombricompuesto. (p.36)

Suárez (2012) asegura:

La lombricultura consiste en el cultivo intensivo de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en residuos orgánicos aprovechados como abono para cultivos agrícolas. A estos desechos orgánicos arrojados por la Lombriz se le conocen con el nombre de Humus que es el mayor estado de descomposición de la materia orgánica, es un abono de excelente calidad. Además la Lombriz roja californiana tiene un 70% en Proteína lo que significa que es ideal para la alimentación de animales como cerdos o peces. (p. 44)

Armas et al. (2008) refieren que: “la lombriz roja (*Eisenia foetida*) actúa sobre la pulpa y el mucilago del fruto de café logrando con este sistema manejar adecuadamente los residuos del proceso de beneficiado. La lombriz de tierra es un organismo habitante natural del suelo que se adapta al proceso de descomposición de la materia orgánica, desplazándose en busca de alimento o de sitio para colocar los huevos. En sus movimientos a través del suelo, forma canales que facilitan la aireación y hacen más uniforme la distribución del agua y los nutrimentos.

Características de la lombriz roja: La lombriz roja californiana tiene una longitud promedio de 6 cm. y pesa en promedio 0.6 gramos en su estado adulto. Es de color rojo y se caracteriza por su poca movilidad comparada con la lombriz de tierra común. El humus de lombriz es un notable regenerador de suelos, capaz de hacer producir tierras infértiles. Estimula el desarrollo de las plantas y mejora el olor, color y sabor de flores y frutos. La lombricultura tiene también buenas posibilidades en la alimentación de animales”.

Quintero (2016) afirma:

El proceso de vermicompostaje está considerado como una ecotecnología limpia, sin impacto ambiental y cuyos costes de inversión, energéticos, y de mantenimiento son moderadamente bajos. Su empleo aporta los siguientes beneficios: a) eliminación de residuos orgánicos nocivos; b) generación de un producto final útil (vermicompost) de gran valor como enmienda orgánica del suelo de alta calidad, y que puede funcionar como un abono químico; c) producción de una gran biomasa de lombrices, de alto contenido proteico y alta calidad para alimentación animal (avícola, porcino y piscícola, fundamentalmente). (p.34)

El vermicompost es un fertilizante orgánico, biorregulador y corrector del suelo cuya característica fundamental es la bioestabilidad, pues no da lugar a fermentación o putrefacción. Posee una riqueza en flora microbiana (1 gr. de vermicompost contiene aproximadamente 2 billones de microorganismos vivos), que al ponerse en contacto con el suelo, aumenta la capacidad biológica de éste y como consecuencia su capacidad de producción vegetal al ser el pH del humus de lombriz cercano a 7. Además, produce hormonas, sustancias producidas por el metabolismo secundario de las bacterias, que estimulan los procesos biológicos de la planta. El humus de lombriz puede almacenarse durante mucho tiempo sin que sus propiedades se vean alteradas, pero es necesario mantenerlas bajo condiciones óptimas de humedad (40%). (Quintero, 2016, p.74)

Quintero (2016) afirma:

El vermicompostaje es un abono que podría ser utilizado como enmienda para suelos con una baja capa de material vegetal dado su importante contenido de carbono que alcanza un 16,23%. En su composición están presentes los nutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio en una relación de 10/5/10. El calcio, magnesio, manganeso, hierro y sodio en cantidad suficiente para garantizar el perfecto desarrollo de las plantas. Al adicionarlo al suelo facilita la absorción de los elementos fertilizantes de manera inmediata, siendo su acción prolongada a lo largo de todo el proceso vegetativo. Tiene capacidad de tamponamiento, por lo que en su presencia los terrenos ligeramente ácidos o básicos, tienden a neutralizarse. Su pH neutro y su equilibrada relación Carbono/Nitrógeno, permite aplicarlo en contacto directo con la raíz o las semillas, de forma que evita el impacto del trasplante y facilita la germinación. Contiene sustancias fitorreguladoras que aumentan la capacidad inmunológica de las plantas, por lo que ayuda a controlar la aparición de plagas. Adicional al vermicompost se obtiene una

biomasa de lombriz producida por el proceso, que constituye una fuente proteica de interés pues alcanza valores de hasta el 70% de proteína en peso seco, que puede ser empleada para la alimentación animal (cerdos, peces entre otros) y para complementar la humana, aunque su riqueza mineral es inferior a las harinas de pescado y su contenido en fibra es muy reducido. Debido a su composición de aminoácidos esenciales (lisina, metionina, valina arginina) y otras sustancias, tienen un amplio uso farmacológico. Al adicionar las lombrices al terreno estas ejercen un control efectivo y económico de los contaminantes sólidos orgánicos, aumentan la porosidad, drenaje y aireación del suelo mediante su sistema de galerías, con su movimiento a través de los diferentes estratos del suelo mezclan las partículas minerales con la materia orgánica de la superficie favoreciendo la formación de complejos coloidales beneficiosas a las plantas. (p.76)

Quintero (2016) asegura:

Para estabilizar la pulpa de café se puede realizar por digestión anaerobia y vermicompostaje. Se recomienda para pequeños productores el proceso de vermicompostaje ya que se produce humus de excelente calidad en elementos menores y mayores, se puede aplicar al cultivo directamente, puede almacenarse por mucho tiempo sin que se alteren sus propiedades; es ideal tanto para interiores como exteriores; la materia prima es de fácil adquisición, además es un proceso muy sencillo que un caficultor sin amplios conocimientos puede hacer correctamente, el costo de producción es relativamente bajo, por lo que no necesita financiamiento. Las cajas se confeccionan con madera y se usan hasta que su estado lo permita; siendo esta una forma viable de crear un fertilizante natural el cual reduce ampliamente el impacto ambiental de la agricultura, protegiendo los suelos y manteniéndolos propicios para el cultivo además de evitar la contaminación de las cuencas hídricas aledañas. (p.77)

Bacterias a base de pulpa y el dulce de la cereza de café:

Por las características fisicoquímicas entre las que se encuentran la humedad y carbohidratos, la pulpa de café se sabe que es un medio de cultivo apto para el desarrollo de una amplia variedad de microorganismos como bacterias y hongos. (Payán, 2011, p. 26)

Finalmente Payán describe:

“Que los 41 microorganismos aislados, de las muestras tomadas en tres fincas ubicadas en el municipio de Chinchiná en el departamento de Caldas, de los cuales 26 corresponden a bacterias, 13 a hongos filamentosos y 2 hongos levaduriformes respectivamente. En la identificación con el equipo automatizado VITEK 2 COMPAQ® se encuentran: *Aeromonas salmonicida*, *Pseudomonas stutzeri*, *Klebsiella oxytoca*, *Globicatella sanguinis*, *Alloiococcus otitis*, *Kocuria varians*, *Achromobacter denitrificans*, *Pseudomonas stutzeri*, *Streptococcus pneumoniae*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Kocuria rosea* y *Gardnerella vaginalis*. Y las identificadas con los resultados por Secuenciación son: *Achromobacter xylosoxidans*, *Klebsiella sp*, *Bacillus sp*, *Rhodococcus erythropolis*, *Pseudomonas sp*, *Cellulosimicrobium sp*, *Pseudomonas sp*, y *Promicromonospora flava*”. (2011, p. 44)

Producción de hongos comestibles y medicinales.

Rodríguez et al. (2013) aseguran que sobre sustratos preparados con los subproductos generados durante el proceso de cultivo e industrialización del café se pueden cultivar hongos

comestibles del género *Pleurotus* spp. (Conocidos popularmente como “orellanas”) y los hongos medicinales *Lentinus edodes* (“Shiitake”) y *Ganoderma lucidum*. Los hongos comestibles del género *Pleurotus* por su facilidad de cultivo y por su alto contenido de proteína, pueden cultivarse en las fincas cafeteras, y utilizarse en programas de seguridad alimentaria. La mayoría de los subproductos agrícolas generados en la zona cafetera, provenientes de los cultivos de café, plátano, maíz y frijol, pueden emplearse para cultivar este tipo de hongos.

Rodríguez y Jaramillo (citado por Rodríguez, 2010) piensa que el hongo *Ganoderma lucidum* se puede cultivar sobre sustratos conformados con los subproductos del cultivo e industrialización del café, con relaciones C/N en el rango 40 a 60.

Armas et al. (2008) refieren que: “la pulpa sirve como sustrato para hongos comestibles: Se le llama sustrato al material que degradan los hongos para su alimentación y crecimiento. Es necesario que el sustrato este acondicionado de manera adecuada para que se desarrolle el micelio”.

Pectinas realizadas con la pulpa y el mucílago de café.

Rodríguez et al. (2013) aseguran que la pectina es un polisacárido de ácido poligalacturónico, y se comercializa en polvo, en forma de cristales o líquida. Se clasifican en pectinas de alto y bajo metoxilo, y ambas son utilizadas en diversas aplicaciones, por la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica por sus propiedades gelatinizantes, espesantes y estabilizantes.

Armas et al. (2008) refieren que “la pectina es un polisacárido natural, el cual es uno de los constituyentes mayoritarios derivados de la pared celular de las plantas. Son muy abundantes en todo el reino vegetal, pueden ser obtenidas en cantidades de las peladuras de cítricos, de restos de manzanas, y de la pulpa de café, que las contienen respectivamente en un 20-40% y 10-20% de la materia seca. La Pectina está compuesta principalmente de ácido pectico y pectato de calcio

La pectina tiene muchas aplicaciones en la industria, entre las cuales están:

Industria alimenticia: Fabricación de jaleas y conservas de frutas, Jugos de frutas y sus concentrados, Preparación de encurtidos, Como estabilizador de sorbetes, etc.

Industria farmacéutica: Tratamiento de hemorragias intestinales, En los preparados laxantes y en las composiciones que dan volumen a las heces, En la fabricación de suspensiones, etc.

Industria manufacturera: Elaboración de empaques para alimentos”.

Producción de gránulos y briquetas.

Se tiene grandes beneficios de usar gránulos y briquetas producidos a partir de pulpa de café, ya que los procesamientos, el secado y la calidad del producto final son buenos. Las propiedades físicas de los pellets y briquetas cumplen con la mayoría de los estándares establecidos (Cubero et al., 2018).

Infusiones.

Los antioxidantes de origen natural han adquirido gran importancia y valor en el mercado por sus características funcionales y los beneficios que estos otorgan a los

consumidores, como son la prevención de enfermedades. La pulpa es una materia prima que tiene buenas características por los compuestos que posee, la cual se puede utilizar y consumir en forma de infusiones (Serna et al., 2018).

Serna et al. (2018) aseguran que existe una relación directa entre la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales presentes en la infusión. Es posible aprovechar la pulpa de café para extraer compuestos bioactivos con posibles aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, permitiendo de esta manera aprovechar estos residuos, disminuir los efectos negativos sobre el medio ambiente y mejorar la rentabilidad de esta agrocadena.

Antioxidantes.

Fonseca, Calderón y Rivera (2014) afirman que los subproductos del café registran fenoles y capacidad antioxidantes (poder reductor/antioxidante férrico e inhibición del radical ABTS Los reactivos ABTS (ácido 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolin- 6-sulfónico). Estos residuos que actualmente se generan en grandes cantidades ocasionando daño ambiental, pueden emplearse como fuente segura y natural de antioxidantes. Hay mayor cantidad de fenoles totales en pulpa que en cáscara. También la capacidad antioxidantes es de 65 y 69 % a 500 ppm para pulpa y cascara, respectivamente. Por lo tanto, los residuos de café tienen potencial como fuentes naturales de antioxidantes

Martínez, Hernández, Aguilar y Rodríguez (2019) aseguran que el uso de extractos de pulpa de café puede utilizarse para controlar el crecimiento y desarrollo de agentes

microbianos. A pesar de esto puede ser utilizado para inhibir el crecimiento de microorganismos como hongos Fito patógenos, donde no se ha explorado el potencial que puede llegar a tener, ya sea a través de extractos acuosos y etanólicos o mediante el aislamiento y purificación de componentes importantes como la cafeína, lo cual sería de gran utilidad para el control de enfermedades fúngicas en campo y en poscosecha. La pulpa es una importante fuente de compuestos fenólicos. La pulpa de café es un subproducto que contiene principalmente ácidos hidroxicinámicos unidos a la pared celular, y también son considerados antioxidantes naturales.

Cafeína.

Armas et al. (2008) refieren que: “la cafeína es el principal alcaloide de la Coffea, planta típica del café. Es una sustancia inodora y amarga, con baja solubilidad en agua fría y de rápida absorción, especialmente por el tracto gastrointestinal. La cafeína es utilizada como estimulante cardiaco y del sistema nervioso central”.

Reutilización.

Gutiérrez et al. (s. f) mencionan que es posible la reutilización del agua del mucilago para obtener agua en condiciones de uso del beneficiadero de alta calidad. La finalidad en la obtención del mucilago, es buscar alternativas que permitan evolucionar el proceso de café en los beneficiaderos de Colombia, mejorando el proceso de desmucilaginado, tratando de reutilizar los desechos como materia prima para otros procesos industriales, principalmente para la producción de alcohol. La población cada vez es más numerosa y demanda mayor cantidad de bienes o servicios, por lo cual se actuará de manera eficiente en cuanto a los recursos disponibles utilizando la menor cantidad de requerimientos y reutilizando al máximo

posible sin minimizar la utilidad. El mucilago puede obtenerse en 4 estados de pureza: pectinas sin refinar, azúcares naturales del fruto del café, compuestos antioxidantes y flavonoides, pro antocianinas incoloras. Puede ser viable para la alimentación de cerdos por su alta carga orgánica que contiene muchos nutrientes; puede ser empleado como fuente de combustible; como fuente de abono en el proceso de lombricompostaje; en la obtención de ácido láctico en aplicaciones como conservantes en la industria alimentaria; cuero y fibras textiles; cosmética; polímeros biodegradables utilizados para envases y aplicaciones biomédicas.

Ensilaje de la pulpa de café

Rodríguez et al. (2013) aseguran que la pulpa es un subproducto con un alto contenido de humedad (alrededor del 80%), que sólo es abundante en la época de cosecha. El establecimiento de sistemas de producción de abono orgánico y hongos comestibles y medicinales, para mantenerse en el tiempo, requiere una disponibilidad permanente de este subproducto durante todo el año. Por eso es necesario en el proceso de ensilaje, con el fin de conservar la pulpa, de forma que pudiera ser utilizada sin problemas, como materia prima para dichos procesos durante todo el año.

Es una nueva alternativa alimenticia para uso animal con los residuos de cosecha y pos cosecha del café. La pulpa de café ha sido la más frecuentemente incorporada a los sistemas de alimentación, a través de su uso en silos gracias a su aceptable composición nutricional (Flórez & Rosales, 2017).

Rathinavelu, y Graziosi (citado por Flórez y Rosales, 2017) piensa que para la

implementación en dietas para animales, se debe evitar la formación de hongos, para lo cual se puede tratar con hidróxido de calcio y secar bajo presión. Así mismo, puede ser mezclada con otros ingredientes como caña de azúcar, melaza y urea para ensilar y conservar hasta por 18 meses sin sufrir ninguna alteración en su composición y representar un riesgo para la salud y bienestar animal.

Torres et al. (2019) afirman que el secado es una alternativa para estabilizar este subproducto (pulpa), como etapa previa para su uso industrial. La pulpa de café tiene presencia de biocomponentes de alto interés (cafeína y ácido clorogénico) que no se pierden por efecto del proceso de secado y los cambios en el color son levemente percibidos por el ojo humano. Lo anterior indica que el secado es una alternativa para prolongar el tiempo de vida en almacenamiento de este subproducto.

Alimentación para los animales.

Armas et al. (2008) afirman que “la pulpa de café debe ser procesada adecuadamente evitando su acumulación por largos periodos de tiempo antes de ser deshidratados o ensilada, para obtener el máximo provecho de su potencial nutritivo. La composición química de la pulpa de café la cual indica que este material tiene características adecuadas para ser utilizado en la alimentación animal. A continuación se describe la alimentación en diferentes animales:

-Ganado lechero: La pulpa de café ha sido empleada ya sea ensilada o deshidratada, en los concentrados normalmente utilizados para suplementar los forrajes que sirven de base para alimentación de vacas lecheras. La pulpa puede ser incorporada a niveles que va de 20 a 40% del concentrado y de 10 a 20% de la materia seca de la relación completa, sin que produzca disminuciones en la producción de leche.

-Ganado bovino: Se puede usar de 20% a 30% de pulpa de café en las raciones para ganado bovino de carne. El contenido de nutrientes totales y digeribles de la pulpa de café muestra que este tipo de subproducto agrícola tiene un valor nutritivo potencial similar al de un forraje tropical de buena calidad, la digestibilidad de pulpa ensilada es superior al de la deshidratada. Los efectos adversos de la pulpa disminuyen cuando la ración contiene por lo menos 20% de melaza, 15% de otro forraje y 14% de proteína cruda.

-Alimentación para Cerdos: En los cerdos la alimentación con pulpa de café, se encuentra que el porcentaje máximo de pulpa en la ración para que la consuman los cerdos es de 12 a 16%.

-Alimentación para el cultivo de la Tilapia: La pulpa de café se puede incluir en dieta para Alevines de Tilapia hasta un 20% sin afectar los índices productivos de los animales”.

Sarasty (2012) afirma:

El mucilago tiene aplicaciones tanto a nivel animal como vegetal, además de aplicaciones industriales. En la obtención de pectinas y ácido láctico. Al emplearse el mucilago de café como complemento a la dieta porcina, se está contribuyendo a evitar parcialmente el problema de la contaminación ocasionada por este subproducto. (p.34)

Producción de biocombustibles a partir de los subproductos del café.

Sarasty (2012) asegura:

En Colombia se ha planteado que unos de los manejos o utilización para el subproducto del café (pulpa) sea la utilización de combustible directo también se puede utilizar en sistemas de combustión a gas o para la producción de energía eléctrica por medio de turbinas o plantas generadoras a gas. (p. 27)

Rodríguez et al. (2013) aseguran que el biogás es una mezcla gaseosa constituida básicamente por metano en una proporción que oscila entre el 50% y el 80%, y gas carbónico, con pequeñas trazas de vapor de agua, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, monóxido de carbono, nitrógeno, oxígeno y trazas de compuestos orgánicos; y se origina por la degradación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. El biogás se puede utilizar como combustible directo en sistemas de combustión a gas o para la producción de energía eléctrica, mediante turbinas o plantas generadoras.

Armas et al. (2008) afirman que: “la pulpa como combustible es una forma de utilización que consiste en ocupar la pulpa de café después de haber pasado por un proceso de deshidratación como materia prima para la alimentación de los hornos de las maquinas que se utilizan para el secado del café.

Características:

- El uso combustible de la pulpa en complemento a la cascarilla para el secado del grano permite usar más del 80% de la pulpa generada por el proceso y eliminar el uso de la leña en los beneficios de café.

- El uso combustible de la pulpa sin uso de la cascarilla para el secado del grano, permite dar un uso productivo a toda la pulpa generada por el proceso y disminuir en un 70% los costos de combustible”.

Etanol:

En el año 2007 se iniciaron investigaciones relacionadas con la producción de alcohol carburante a partir de la pulpa y el mucílago del café. Se realizaron los estudios de fermentación alcohólica de la pulpa de café fresca, utilizando levaduras comerciales, con

promedios de rendimiento de 25,2 mL de etanol por 1,0 kg de pulpa fresca y 58,4 mL de etanol por 1,0 kg de mucílago fresco (Rodríguez y Zambrano, 2010).

Armas et al. (2008) refieren que: “el etanol es un compuesto orgánico líquido de naturaleza diferente a los hidrocarburos y se obtiene a partir de biomasa. Se logra también a partir de biomasa de yuca, maíz y remolacha, o celulosa proveniente de desechos orgánicos. El compuesto químico etanol es un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. Se mezcla con agua en cualquier proporción y da una mezcla aceotrópica con un contenido de aproximadamente el 96 % de etanol. Es un buen disolvente, puede utilizarse como anticongelante. Se emplea como combustible industrial y doméstico”.

Biogás:

Armas et al. (2008) aseguran que: “el biogás se refiere a la mezcla de los gases metano y dióxido de carbono, que generalmente existe en una proporción de 60% a 70% de metano y de 30% a 40% de dióxido de carbono. Es producido por algunos microorganismos, en condiciones anaeróbicas. Entre las características más importantes del metano están su calor de combustión, el cual es de 891,618 Joule/mol, con un punto de fusión de 183°C y punto de ebullición de -161.5°C, es incoloro y cuando se licua es menos denso que el agua. Una de las formas tal vez más sencillas de utilización de la pulpa es la obtención de gas combustible. El gas producido por desperdicios agrícolas y excrementos animales (biogás), representa una alternativa muy oportuna para reemplazar los combustibles fósiles, ya que el biogás puede ser utilizado para accionar motores diésel sin que se vea afectada su potencia. También puede utilizarse para generar energía eléctrica (uso de especial interés para los beneficiadores), y potencialmente para ser envasado en cilindros apropiados tal como se vende el gas comercial.

Por otro lado, en investigaciones realizadas por Cenicafe, se han obtenido rendimientos de 25 litros de biogás por cada kilogramo de pulpa de café, lo cual sugiere que este producto posee una gran capacidad para ser producido a nivel industrial”.

El método de digestión anaerobia utilizando como sustrato pulpa de café es viable, especialmente para caficultores que producen medianas y grandes cantidades de pulpa de café ya que con este se logra un buen producto (Quintero, 2016).

Quintero (2016) afirma:

El biogás generado en la fermentación de pulpa de café se puede utilizar de tres formas:

- Aplicación directa como fuente de calor (cocina, alumbrado).
- Combustión en calderas de vapor convencionales aprovechando el calor para calentar el digester y para calefacción en general (secadores de café)
- Utilización como combustible en motores de combustión interna acoplados a generadores de electricidad. (p. 60)

Quintero (2016) concluye que la enmienda obtenida a partir de la digestión anaerobia es una suspensión acuosa líquida cuyas partículas corresponden a la biomasa microbiana correspondientes al proceso con sólido. Este digerido se puede utilizar principalmente para riego al cultivo de café que adicionalmente aportará y brinda nutrientes esenciales cumpliendo los requerimientos para el cultivo de café, dentro de los niveles adecuados en cuanto a microelementos tales como hierro, magnesio, zinc, cobre entre otros con relación N/P/K en una razón de 2/5/10. De esta manera se logra cultivos productivos y bien nutridos.

Beneficios económicos, sociales y ambientales del aprovechamiento de los residuos de poscosecha del café.

El aprovechamiento de los residuos de la poscosecha genera grandes beneficios ambientales, sociales y económicos que garantizan la sostenibilidad del ecosistema y la producción agrícola, logrando un crecimiento y desarrollo al país.

Armas et al. (2008) mencionan que: “los beneficios s del aprovechamiento de los residuos de la pulpa y el mucilago del café son:

- La reducción de la contaminación causada por la pulpa de café.
- Promueve el saneamiento ambiental, reduciendo la proliferación de insectos y malos olores que afectan a las poblaciones cercanas.
- Reduce la contaminación pues no se utilizan pesticidas químicos sintéticos.
- Restaura el ciclo de vida del suelo.

Beneficios sociales

- Generación de empleos
- Salud ocupacional
- Alimentos sanos

Conciencia ecológica de la población en general

Beneficios económicos

- Incremento de divisas debido a la exportación de productos orgánicos
- Mejor aceptación de los productos orgánicos
- Aumento de mano de obra para la preparación del abono”.

Fonseca et al. (2014) aseguran que el uso de estos residuos agroindustriales contribuye a la sostenibilidad y en la conservación del medio ambiente.

Capera y Sánchez (2012) mencionan que las personas son conscientes de la alta contaminación a las fuentes hídricas por el manejo inadecuado de los residuos sólidos (pulpa y mucilago), del café. Por eso se busca la manera de aprovecharlos, logrando un uso para el cultivo y evitando arrojar los residuos al ecosistema sin ningún tratamiento.

Botero y Betancur (2012) afirman que el manejo de residuos es de muchísima importancia en la caficultura contemporánea, debido a la gran disminución de la contaminación del medio ambiente y a los beneficios obtenidos para la producción cafetera y la alimentación animal.

Cervantes et al. (2015) aseguran que la pulpa de café al 25% clasifica como un compuesto mejorador de las propiedades microbiológicas de los suelos dedicados al cultivo del café.

Con la transformación de la pulpa de café en abono orgánico se evita la contaminación, debido a que se retienen lixiviados como son las aguas mieles y el mucilago (Moreno & Romero, 2016).

La producción de abono orgánico contribuye a la producción de los cultivos, logrando que el caficultor ahorre dinero en la compra de fertilizantes químicos y se obtenga rendimientos altos en el cultivo de café.

Cuando se realiza el manejo correcto y aprovechamiento de la pulpa y el mucilago se logra evitar la contaminación en las quebradas de las fincas o de la vereda, se evitan los malos olores y cambios en los componentes químicos del agua a raíz de la descarga de materiales sólidos y líquidos contaminados deteriorando la calidad para el consumo humana como para la fauna de las corrientes de agua (Capera & Sánchez, 2018),

Desarrollar el compostaje como tecnología apropiada para el manejo de los residuos resultantes del beneficio del café en toda la zona cafetera del país, permite la mitigación de forma significativa de los impactos ambientales negativos asociados a esto. El compostaje es un producto que no genera contaminación biológica ni ambiental porque no se generan lixiviados que contamina las aguas subterráneas ni quebradas. El compostaje bien manejado es un material estabilizado el cual no presenta olores, vectores ni semillas indeseables. Es un mejorador de las condiciones físico-químicas de los suelos, control de malezas, mayor productividad y sostenibilidad de la fertilidad en el tiempo. (Suarez, 2012, p.53)

Moriones y Montes (2017) aseguran que el proceso de compostaje reduce el peso y el volumen de los residuos en un 50% mínimo, además, es un tratamiento alternativo de residuos que los estabiliza, minimizando el impacto ambiental, evitando los riesgos de contaminación que pueden provocar otras alternativas como la incineración y los vertederos. Es una estrategia de conservación de los suelos en la lucha contra su degradación y pérdida de fertilidad.

Vásquez de Díaz et al. (2010) afirman que los residuos de la pulpa del café se obtiene un compost en 40 días que cumple con los parámetros exigidos por la norma técnica Colombiana (NTC 5167, 2004) para ser utilizado como abono orgánico en el cultivo del café, lo

que puede contribuir a la conservación y recuperación del ecosistema en las zonas cafeteras del país.

Con la producción y utilización de abonos orgánicos se logran aportes económicos, sociales y ambientales, que garantizan una producción limpia y el abastecimiento de alimentos totalmente sanos e inocuos (Armas et al., 2008).

Armas et al. (2008) aseguran que: “la alternativa a desarrollar para el aprovechamiento de los subproductos del beneficiado de café es el abono orgánico, el cual permite aprovechar la mayor cantidad de pulpa que se genera en el proceso de beneficiado, contribuyendo de esta forma a la reducción de la contaminación ambiental y la probable disminución de los costos de producción en que se incurre para el cultivo del café”.

“La importancia de aprovechar los residuos (pulpa y mucilago) genera un beneficio social por la generación de empleo en el sector rural y ser una alternativa para el aprovechamiento de uno de los subproductos más contaminantes del beneficiado del café, se obtiene un abono cien por ciento orgánico que beneficia al sector agropecuario porque ofrece una alternativa para cultivar productos orgánicos, siendo estos altamente cotizados en el mercado externo. La importancia económica y financiera de la población en general se da al existir más productividad, se genera mayor circulación monetaria, resultando mayores oportunidades de empleo y desarrollo para el sector rural dedicado a la actividad cafetera” (Armas et al., 2008).

López (2017) afirma:

La implementación de alternativas como la biotransformación de la biomasa energética proveniente del beneficio ecológico del café, permite que además de reducir el impacto al suelo y fuentes de agua por su inadecuada disposición, aumenten los ingresos a la cadena productiva del café y colaboren con la mitigación de necesidades energéticas que tienen muchas familias cafeteras de Colombia. (p. 21)

Escobar et al. (2013) aseguran que la presencia de sustratos orgánicos potencia el crecimiento de los microorganismos, los cuales inmovilizan los nutrimentos al incrementar su biomasa, los cuales más adelante pueden estar disponibles a otros microorganismos y a las plantas durante su ciclo de crecimiento.

El uso del vermicompostaje y digestión anaerobia en la estabilización de la materia orgánica genera beneficios ambientales por disminución de la contaminación tanto en el agua como del suelo y el aire, reduce la atracción de vectores que atraen enfermedades para los habitantes de la región y a su vez disminuye el impacto negativo realizado por la utilización de fertilizantes químicos, pesticidas e insecticidas en el suelo. (Quintero, 2016, p.79)

Quintero (2016) afirma:

Las Ventajas del proceso de vermicompostaje son:

- Tiende a necesitar algo menos de mano de obra – no es necesario el volteo para aireación. (La actividad de las lombrices ayuda a mezclar, airear y fragmentar los materiales)

- El contenido de humedad superior no constituye un problema

-Los materiales pueden añadirse constantemente (sin necesidad de un “prealmacenaje” a la espera de la creación de una nueva pila de compostaje

-El tamaño del sistema carece de importancia, es ideal tanto para interiores como al aire libre.

-Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre.

- Incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente nitrógeno.

- Estabiliza la reacción del suelo, debido a su alto poder de tampón.

-Inactiva residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción.

-Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.

- Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados y compactos y ligando los suelos sueltos y arenosos.

-Mejora la porosidad y, por consiguiente, permeabilidad y ventilación.

-Reduce la erosión del suelo.

- Incrementa la capacidad de retención de humedad.

-Confiere un color oscuro en el suelo, ayudando a la retención de energía calorífica.

-Es fuente de energía, la cual incentiva la actividad microbiana. (p.37)

Quintero (2016) afirma:

El proceso es ambientalmente, los beneficios son ilimitados e inmejorables. Se resuelve el problema de contaminación de las fuentes hídricas en el momento de dejarlos a la intemperie después del beneficio; se controla la proliferación de vectores de enfermedades que afectan significativamente a las comunidades más vulnerables, se minimiza la presión sobre los bosques por el uso de la leña como única fuente de energía para la cocción de los alimentos, aumenta la fertilidad de los suelos al obtener un biofertilizante con alto contenido en nitrógeno y otros elementos que requieren las plantas, por la combustión del biogás obtenido se disminuye la emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y se crea un ciclo donde la vegetación aprovecharía de manera eficiente este gas para la elaboración de oxígeno y carbohidratos mediante los procesos fotosintéticos. En decir se obtendría un cambio significativo en el medio ambiente que se verá reflejado en la sociedad al mejorar sus condiciones de vida. Económicamente se crea una alternativa energética que suplan sus labores diarias y además sean amigables con el ambiente. (p.61)

El vermicompostaje de pulpa de café representa una alternativa ecológica para aprovechar este material en la producción de abono orgánico, reducir las dependencias de insumos externos y darle valor agregado a este subproducto del cultivo. La aplicación de este producto al suelo produce múltiples beneficios, aumenta la permeabilidad, la agregación de partículas, de macro y microelementos, la corrección de la acidez, la población de microorganismos y mejora la eficiencia y el uso de nutrimentos por parte de las plantas debe promover el vermicompostaje como una alternativa tecnológica para el manejo y aprovechamiento de la pulpa de café y sobre

todo, como una vía para reducir la contaminación ambiental y la degradación de las cuencas hidrográficas. (Quintero, 2016, p.70)

El uso del vermicompostaje y la digestión anaerobia en la estabilización de la materia orgánica genera beneficios ambientales, por disminución de la contaminación tanto en el agua como del suelo y el aire, reduce la atracción de vectores que atraen enfermedades para los habitantes de la región y a su vez disminuye el impacto negativo realizado por la utilización de fertilizantes químicos, pesticidas e insecticidas en el suelo. (Quintero, 2016, p.79)

Gutiérrez et al. (s.f) aseguran que la nueva estrategia de reutilización del mucilago de café genera un alto impacto social, económico y medioambiental. Gestionar un sistema de producción ambientalmente sostenible ayuda a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, los cuales por mucho tiempo han sido usados para la subsistencia humana en muchas tareas cotidianas pero que ha traído consigo contaminación sin que sea fácil contrarrestarla; además que su extracción está limitando su uso, al contrario del bioetanol que produce una energía renovable reduciendo los niveles de contaminación buscando la preservación de las fuentes hídricas y la biodiversidad, generando un menor impacto social. La sociedad se beneficia con el uso de la energía renovable: está generando trabajo a todos aquellos que interfiere y participan en la cadena de valor. Además de reducir la emisión de gases, propiciar un ambiente más adecuado y saludable para las nuevas generaciones, generar cambio de conciencia, reparar y brindar conocimiento para un buen uso de la tierra incentivando al desarrollo sin agotamientos ni escases, ayuda a la creación de nuevas tecnologías, impulsa nuevos mercados, brinda más recursos económicos en relación a políticas ambientales,

impulsa la agroindustria nacional. Darle importancia al cambio ayudará a ser una nación en progreso y desarrollo.

Rodríguez et al. (2013) afirman que la energía que se puede obtener de los subproductos relacionados con el cultivo, beneficio e industrialización de 100 kg de café cereza, se determina que es cercana a los 10 GJ. Energía que por provenir del campo es energía renovable y que tiene un gran valor económico, social y ambiental por el agotamiento paulatino de las reservas de las energías fósiles.

Los productos resultantes de los residuos de la poscosecha del café benefician el ecosistema, protegiéndolo de la contaminación y daños, ayuda al progreso del caficultor, disminuyendo costos de producción y obteniendo mayores ganancias y además favorece el desarrollo social de la región cafetera.

Resultados

Al aprovechar y realizar una transformación de los residuos de la poscosecha del café (pulpa y mucilago) resultan diferentes productos beneficiosos para la agricultura y el ecosistema.

Los productos obtenidos de la transformación de la pulpa son:

- Abono orgánico: se obtienen a partir de la realización del compost, con la utilización de fosas y con lombricultivo.
- Hongos comestibles y medicinales
- Producción de gránulos y briquetas
- Infusiones
- Alimentación de animales: a través del ensilaje de la pulpa

Los productos a partir del mucilago del café son:

- Pectina.

Los productos obtenidos de la pulpa y del mucilago del café son:

- Biocombustibles: etanol y biogás.

Existen diversos métodos para el aprovechamiento de los residuos:

- Compostajes
- Lombricultivo
- Realización de fosas.
- Ensilaje
- Destilación para procesos de biocombustibles.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones.

Con la investigación bibliográfica se logró recopilar las estrategias y tendencias de aprovechamientos de los residuos de la fase del beneficio del café en Colombia, obteniendo información valiosa y de gran ayuda para mejorar el desarrollo de la caficultura en Colombia. Las estrategias para aprovechar los residuos son viables ya que son prácticas que pueden ser implementadas por los productores de café.

Hay diversos métodos y procedimientos para la transformación de los residuos (la pulpa y el mucilago) cada uno de estos tiene sus ventajas y desventajas, además deben tener buenas prácticas en cada paso para lograr productos con buenas características que logren el correcto aprovechamiento. Todos los métodos logran la transformación de los residuos obteniendo productos que favorecen la agricultura, el ambiente y el desarrollo social de la región; también estos métodos tienen diferentes maneras, formas y recursos que son fáciles de utilizar, por lo tanto el caficultor puede ejecutarlos logrando el aprovechamiento y beneficio del producto obtenido. Cada procedimiento que existe es importante para lograr la transformación de los residuos en productos utilizados en la agricultura, y demás sectores de la región.

Los productos resultantes de los residuos de la poscosecha del café tienen buenas características que favorecen el desarrollo de la agricultura, facilita la producción de biocombustibles y tiene grandes usos en el campo y ventajas en los suelos como son la

mejora de las características físicas y químicas de este, rapidez en el crecimiento de los cultivos y por consiguiente mayor rendimiento y obtención de productos con calidad. Los productos obtenidos son abonos orgánicos, compostajes, ensilaje de la pulpa para la alimentación de animales, biogás, bioetanol, producción de hongos comestibles, etc. Estos productos son de gran utilidad para el mejoramiento y crecimiento de la agricultura en el país y para la protección del ecosistema.

Al aprovechar los residuos de poscosecha del café se logra grandes beneficios económicos, sociales y ambientales. Al transformar y dar un buen uso a los residuos del café, se logra cultivos más productivos, crecimiento económico de la región, aumento en la mano de obra, disminución de los costos de producción, favorece la nutrición y microorganismo del suelo, mayores rendimientos en cultivos, obtención de productos sanos y con calidad, reducción de los daños del agua y el suelo. Por lo tanto todos estos beneficios logran que la caficultura sea un sector sostenible que ayuda al desarrollo del campo y del cuidado de los recursos naturales.

Recomendaciones.

Para lograr el aprovechamiento de los residuos y obtener productos valorizados que mejoren el ambiente y la economía de los productores; es necesario la implementación de procedimientos para la transformación de la pulpa y mucilago, logrando disminuir la contaminación.

Los productores de café del país dependiendo de la cantidad de residuos, de sus recursos y conocimientos deben buscar los métodos correctos para obtener productos favorezcan la sostenibilidad de la caficultura. Es decir los caficultores no deben dejar en el suelo sin ninguna transformación y aprovechamientos los residuos obtenidos en el proceso en el beneficio del café (pulpa y mucilago) ya que hay diversos productos que benefician la producción de cultivos, el desarrollo de la agricultura y al cuidado del medio ambiente.

En las zonas productoras de café del país se debe sensibilizar y promover la aplicación de métodos fáciles y económicos para la transformación de los subproductos de beneficio (pulpa y mucilago), logrando que los caficultores de Colombia los utilicen y obtengan grandes beneficios.

Referencias

- Armas, E.A., Cornejo N.C. y Murcia, K.M. (2008). *Propuesta para el aprovechamiento de los subproductos del beneficiado del café como una alternativa para la diversificación de la actividad cafetalera y aporte de valor a la cadena productiva* [tesis doctoral, Universidad de El Salvador]. Repositorio Institucional US.
[http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1822/1/Propuesta para el aprovechamiento de los subpr oductos del beneficiado del caf%C3%A9 como una.pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1822/1/Propuesta_para_el_aprovechamiento_de_los_subpr oductos_del_beneficiado_del_caf%C3%A9_como_una.pdf)
- Botero, J.C. y Betancur, H. W. (2012). *Buenas Prácticas Agrícolas en el Beneficio del Café en Colombia* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio UNAD.
[https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/1493/MONOGRAFIA%20CAFE.p df?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/1493/MONOGRAFIA%20CAFE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Capera, M. & Sánchez, H. (2018). *Diagnóstico del Impacto Ambiental de los Residuos Sólidos (pulpa y mucilago), del café Generados por unidades productivas no certificadas en BPA en las Veredas Tabacal y Betania del Municipio De Pitalito Departamento del Huila* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/20923>
- Cervantes Beyra, Rafael, Castro-Lizazo, Iván, Mesa Pérez, María Aurora, Ocampo Ramírez, Arturo, Fernández Valdés, Daybelis, & Fernández Valdés, Dayvis. (2015). Efecto de la pulpa de *Coffea arábica* L. sobre la microflora de tres unidades de suelos. *Revista de Protección Vegetal*, 30(2), 115-122. Recuperado en 06 de abril de 2020, de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522015000200005&lng=es&tlng=es

Cervantes Beyra, Rafael, Ponce de León, Daniel, Balmaseda Espinosa, Carlos, Cabrera Alfonso, José Ramón, & Fernández Chuairey, Lucía. (2015). Efecto de la pulpa de *Coffea arábica* L., sobre suelos del macizo montañoso Guamuhaya. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 38-43. Recuperado en 01 de junio de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000200006&lng=es&tlng=es

Cisneros, C.A., Sánchez, M., & Menjivar, J.C. (2016). Influencia de microorganismos solubilizadores de fósforo del suelo y su absorción por Plántulas de café. *Bioagro*, 28(2), 95-106. Recuperado en 01 de junio de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612016000200004&lng=es&tlng=es

Cisneros-R, Carlos A, Franco, Jaime Martín, Realpe-Fernández, Marcela, & Fuenmayor, Juan Carlos. (2017). Influencia de microorganismos en la disponibilidad de fósforo en plántulas de café (*Coffea Arabica*). *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 19-26. [https://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(15\)11-18](https://dx.doi.org/10.18684/BSAA(15)11-18)

Cubero-Abarca, Robert, Moya, Roger, Valaret, Jorre y Tomazello Filho, Mario. (2014). Uso de pulpa de café (*Coffea arabica*) para la producción de briquetas y pellets para la generación de calor. *Ciência e Agrotecnologia*, 38 (5), 461-470. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000500005>

- Escobar, N., Mora, J., & Romero, N. (2013). Respuesta agronómica de Zea Mays L. y Phaseolus Vulgaris L. a la fertilización con compost. *Luna Azul*, (No. 37), pp. 18-29. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742013000200003&lng=en
- Fonseca, L., Calderón, L. S. & Rivera, M. E. (2014). Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en norte de Santander (Colombia). *Vitae*, 21(3), 228-236. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042014000300008&lng=en&tlng=es
- Flórez D.F, & Rosales E. (2018). Uso del ensilaje de pulpa de café en alimentación animal. *Mundo Fesc*, vol. 15 (No. 1), pp. 73-82. Recuperado de [file:///C:/Users/estacion%203/Downloads/Dialnet-UsoDelEnsilajeDePulpaDeCafeEnAlimentacionAnimal-6638703%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/estacion%203/Downloads/Dialnet-UsoDelEnsilajeDePulpaDeCafeEnAlimentacionAnimal-6638703%20(1).pdf)
- Giraldo J.J., Niño, C.D & Vianchá, C. (2017). Análisis de buenas prácticas en el proceso de beneficio del café: experiencia de estudio en el municipio de Viotá (Cundinamarca, Colombia). *Ingeniería Solidaria*, vol. 13, (No. 22), pp. 121-135. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v13i22.1839>
- Guerrero, F.A. & Moreno, J. F. (2010). *Proyecto de investigación para el aprovechamiento de la pulpa y mucilago de café mediante la elaboración de una bebida fermentada* [tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. Repositorio Institucional. <http://sired.udenar.edu.co/5296/1/81547.pdf>

Gutiérrez, C. R, Gómez K.A. & Imbachi, R. M. (s.f). *Perspectiva del desarrollo de la técnica de reutilización del mucilago en el proceso de beneficio húmedo del café de alta calidad.*

Recuperado de https://fup.edu.co/wp-content/uploads/2019/06/conciencia_6_articulo_5.pdf

Guzmán, C. D. (2014). *Estandarización de producción de bio-etanol a base de mucilago de café en la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro del Sena Pitalito Huila* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/3583> .

López, J.C. (2017). *Producción de bioalcoholes, a partir de mucilago obtenido con tres tecnologías utilizadas en el beneficio ecológico del café* [tesis de Maestría, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional UM. http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3148/LopezN_JuanC_Tesis_2017.pdf?sequence=1

Martínez-Alemán, Saira Rocío, Hernández-Castillo, Francisco Daniel, Aguilar-González, Cristóbal Noé, & Rodríguez-Herrera, Raúl. (2019). Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana. *Investigación y Ciencia*, 27 (77), 73-79. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=674/67459697009>

Moreno, N, M. y Romero, A. A. (2016). *Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras* [tesis de Maestría, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional UM.

http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2620/Moreno_Nidia_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Moriones Ruiz, Maayann Lisseth, & Montes- Rojas, Consuelo. (2017). Aporte de *Tithonia diversifolia* en abonos orgánicos: efecto en producción y suelo en Cauca, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 101-111. [https://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(15\)101-111](https://dx.doi.org/10.18684/BSAA(15)101-111)

Pardo, L.F. (2016). *Aplicaciones biológicas del mucílago residual producto del beneficio de café*, [tesis de especialización, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional UIS. <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/39345/1/161238.pdf>

Payán Bastidas, C.I. (2011). *Aislamiento, identificación y conservación de microorganismos presentes en residuos lignocelulósicos (pulpa) provenientes del beneficio del café*, [tesis de especialización, Universidad católica de Manizales]. Repositorio Institucional UCM. <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/300/Claudia%20Ines%20Payan%20Bastidas.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Pérez, L.E & Calderón, Y.S. (2017). *Estimación de la estabilidad y madurez de compost elaborado a partir de pulpa de café (coffea arabica l), mediante la utilización de técnicas de tambor rotatorio* [tesis de pregrado, Universidad Surcolombiana]. Repositorio Institucional USCO. <http://repositorio.usco.edu.co/bitstream/123456789/394/1/TH%20IA%200284.pdf>

Quintero Díaz, L. (2016). *Estabilización de la biomasa residual de la pulpa de café mediante procesos bioquímicos: vermicompostaje y digestión anaerobia* [tesis de especialización,

Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional UIS.

<http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/6550/1/161201.pdf>

Rodríguez V.N., Zambrano, D.A., y Ramírez, C.A. (2013). Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio del café. Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura.

Chinchiná: FNC: CENICAFÉ. 3 vols. Recuperado de

https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/manualCafetero2p

Rodríguez, N y Zambrano, D.F. (2011). *Producción de alcohol a partir del mucílago de café*.

Revista Cenicafé 62 (1): 56-69. Recuperado de

<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/496/1/arc062%2801%2956-69.pdf>

Rodríguez, V.N., y Zambrano, D.A. (2010). *Los subproductos del café: Fuente de energía renovable*. Avances Técnicos Cenicafé, (393), pp. 1-8. Recuperado de

<http://www.jotagallo.com/agricola/assets/cenicafe-avance-tecnico-393-subproductos-del-cafe.pdf>

Sáenz, J.R.; Oliveros, C, E.; Ramírez, C.A; Peñuela, A.E., y Ramos, P.J. (2013). Proceso del beneficio. Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná: FNC: CENICAFÉ. 3 vols. Recuperado de

https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/manualCafetero2p

Sarasty, D.J. (2012). *Alternativas de tratamiento del mucílago residual producto del*

beneficiadero de café [tesis de especialización, Universidad industrial de Santander]

Repositorio institucional UIS.

<http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/39296/1/145122.pdf>

Serna-Jiménez, Johanna Andrea, Torres-Valenzuela, Laura Sofía, Martínez-Cortínez, Katherine, & Hernández-Sandoval, María Camila. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista ION*, 31(1), 37-42. <https://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018006>

Suárez, J.M. (2012). *Aprovechamiento de los residuos provenientes del beneficio del café, en el municipio de Betania de Antioquia: Usos y aplicaciones* [tesis de Especialización, Corporación Universitaria Lasallista]. Repositorio Institucional ULS. http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/06/APROVECHAMIENTO_RESIDUOS_SOLIDOS_BENEFICIO_CAFE.pdf

Torres-Valenzuela, Laura S., Martínez, Katherine G., Serna-Jiménez, Johanna A., & Hernández, María C. (2019). Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Fisicoquímicas. *Información tecnológica*, 30(2), 189-200. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200189>

Anexo

RAE Resumen Analítico del Escrito

Título	Estrategias y tendencias de aprovechamiento de los residuos de la poscosecha del cultivo de café <i>Coffea arábica</i> en Colombia.
Autores	Paula Daniela Castellanos Rodríguez
Fuente bibliográfica	<p>Armas, E.A., Cornejo N.C. y Murcia, K.M. (2008). <i>Propuesta para el aprovechamiento de los subproductos del beneficiado del café como una alternativa para la diversificación de la actividad cafetalera y aporte de valor a la cadena productiva</i> [tesis doctoral, Universidad de El Salvador]. Repositorio Institucional US. http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1822/1/Propuesta_para_el_aprovechamiento_de_los_subproductos_del_beneficiado_del_caf%C3%A9_como_una.pdf</p> <p>Botero, J.C. y Betancur, H. W. (2012). <i>Buenas Prácticas Agrícolas en el Beneficio del Café en Colombia</i> [tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio UNAD. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/1493/MONOGRAFIA%20CAFE.pdf?sequence=1&isAllowed=y</p> <p>Capera, M. & Sánchez, H. (2018). <i>Diagnóstico del Impacto Ambiental de los Residuos Sólidos (pulpa y mucilago), del café Generados por unidades productivas no certificadas en BPA en las Veredas Tabacal y Betania del Municipio De Pitalito Departamento del Huila</i> [tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/20923</p> <p>Flórez D.F. & Rosales E. (2018). Uso del ensilaje de pulpa de café en alimentación animal. <i>Mundo Fesc</i>, vol. 15 (No. 1), pp. 73-82. Recuperado de file:///C:/Users/estacion%203/Downloads/Dialnet-UsoDelEnsilajeDePulpaDeCafeEnAlimentacionAnimal-6638703%20(1).pdf</p> <p>Giraldo J.J., Niño, C.D & Vianchá, C. (2017). Análisis de buenas prácticas en el proceso de beneficio del café: experiencia de estudio en el municipio de Viotá (Cundinamarca, Colombia). <i>Ingeniería Solidaria</i>, vol. 13, (No. 22), pp. 121-135. doi: http://dx.doi.org/10.16925/in.v13i22.1839</p> <p>Guerrero, F.A. & Moreno, J. F. (2010). <i>Proyecto de investigación para el aprovechamiento de la pulpa y mucilago de café mediante la elaboración de una bebida fermentada</i> [tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. Repositorio Institucional. http://sired.udenar.edu.co/5296/1/81547.pdf</p> <p>Gutiérrez, C. R, Gómez K.A. & Imbachí, R. M. (s.f). <i>Perspectiva del desarrollo de la técnica de reutilización del mucilago en el proceso de beneficio húmedo del café de alta calidad</i>. Recuperado de https://fup.edu.co/wp-content/uploads/2019/06/conciencia_6_articulo_5.pdf</p> <p>Guzmán, C. D. (2014). <i>Estandarización de producción de bio-etanol a base de mucilago de café en la planta de biocombustibles del techno-parque Yamboro del Sena Pitalito Huila</i> [tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/3583</p> <p>López, J.C. (2017). <i>Producción de bioalcoholes, a partir de mucilago obtenido con tres tecnologías utilizadas en el beneficio ecológico del café</i> [tesis de Maestría, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional UM. http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3148/LopezN_JuanC_Tesis_2017.pdf?sequence=1</p> <p>Moreno, N, M. y Romero, A. A. (2016). <i>Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras</i> [tesis de Maestría, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional UM. http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2620/Moreno_Nidia_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y</p> <p>Pardo, L.F. (2016). <i>Aplicaciones biológicas del mucilago residual producto del beneficio de café</i>, [tesis de especialización, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional UIS. http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/39345/1/161238.pdf</p> <p>Payán Bastidas, C.I. (2011). <i>Aislamiento, identificación y conservación de microorganismos presentes</i></p>

	<p>en residuos lignocelulósicos (pulpa) provenientes del beneficio del café, [tesis de especialización, Universidad católica de Manizales]. Repositorio Institucional UCM. http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/300/Claudia%20Ines%20Payan%20Bastidas.pdf?sequence=3&isAllowed=y</p> <p>Pérez, L.E & Calderón, Y.S. (2017). <i>Estimación de la estabilidad y madurez de compost elaborado a partir de pulpa de café (coffea arabica l), mediante la utilización de técnicas de tambor rotatorio</i> [tesis de pregrado, Universidad Surcolombiana]. Repositorio Institucional USCO. http://repositorio.usco.edu.co/bitstream/123456789/394/1/TH%20IA%200284.pdf</p> <p>Quintero Díaz, L. (2016). <i>Estabilización de la biomasa residual de la pulpa de café mediante procesos bioquímicos: vermicompostaje y digestión anaerobia</i> [tesis de especialización, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional UIS. http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/6550/1/161201.pdf</p> <p>Rodríguez V.N., Zambrano, D.A., y Ramírez, C.A. (2013). Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio del café. Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná: FNC: CENICAFÉ. 3 vols. Recuperado de https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/manualCafetero2p</p> <p>Serna-Jiménez, Johanna Andrea, Torres-Valenzuela, Laura Sofía, Martínez-Cortínez, Katherine, & Hernández-Sandoval, María Camila. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. <i>Revista ION</i>, 31(1), 37-42. https://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018006</p> <p>Suárez, J.M. (2012). <i>Aprovechamiento de los residuos provenientes del beneficio del café, en el municipio de Betania de Antioquia: Usos y aplicaciones</i> [tesis de Especialización, Corporación Universitaria Lasallista]. Repositorio Institucional ULS. http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/06/APROVECHAMIENTO_RESIDUOS_SOLIDOS_BENEFICIO_CAFE.pdf</p> <p>Torres-Valenzuela, Laura S., Martínez, Katherine G., Serna-Jiménez, Johanna A., & Hernández, María C. (2019). Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Físicoquímicas. <i>Información tecnológica</i>, 30(2), 189-200. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200189</p>
Año	2020
Resumen	<p>Los productores en las regiones cafeteras del país no realizan un buen aprovechamiento de los residuos (pulpa, mucílago) arrojados de la poscosecha, lo cual provoca daños ambientales, esto se da debido a que no conocen los productos que resultan con la transformación de la pulpa y mucílago y los usos que se pueden dar en la agricultura. Con el objetivo de disminuir la contaminación y de aprovechar estos residuos orgánicos, es necesario establecer las condiciones y métodos para la transformación de la pulpa y mucílago del café en productos como fertilizantes y demás, indicando los diferentes procesos, el tiempo necesario, etc. Estos residuos tienen gran potencial para diversos usos en la agricultura, por eso es necesario identificar los procedimientos para la descomposición y lograr beneficios económicos y ambientales.</p> <p>Con la presente recopilación y análisis bibliográfico se presentan los procesos necesarios para obtener un buen aprovechamiento de los residuos de la poscosecha, logrando la sostenibilidad de la caficultura del país.</p>
Palabras claves	Poscosecha, pulpa, mucílago, residuos orgánicos.
Contenidos	<ol style="list-style-type: none"> 1. INTRODUCCIÓN 2. JUSTIFICACIÓN 3. DEFINICION DEL PROBLEMA 4. OBJETIVOS 5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL 6. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA TRASFORMACIÓN DE LOS RESIDUOS (LA PULPA Y EL MUCILAGO) EN PRODUCTOS VALORIZADOS 6.1 Producción de abono orgánico 6.1.1. Compostaje 6.1.2. La fosa- Procesador de materia orgánica 6.1.3. El lombricultivo 6.1.4. Vermicompostaje de la pulpa de café 6.2. Secado de la pulpa 6.3. Producción de briquetas y pellets para la generación de calor 6.4. Alimentación de animales 6.5. Obtención de fenoles

	<p>6.6. Proceso para la obtención de miel a partir del mucilago del café</p> <p>6.7. Cafeína</p> <p>6.8. Hongos</p> <p>6.9. Unicelular</p> <p>6.10. Pectina</p> <p>6.11. Bacterias Base de pulpa y el dulce de la cereza del café</p> <p>6.12. Biocombustibles</p> <p>6.13. Bebida fermentada</p> <p>7. PRODUCTOS RESULTANTES DE LOS RESIDUOS (PULPA Y MUCILAGO) DE LA POSCOSECHA DEL CAFÉ</p> <p>7.1. Aplicación directa</p> <p>7.2. Abono orgánico</p> <p>7.3. Compost</p> <p>7.4. Fosas</p> <p>7.5. El lombricultivo</p> <p>7.6. Bacterias Base de pulpa y el dulce de la cereza del café</p> <p>7.7. Producción de hongos comestibles y medicinales</p> <p>7.8. Pectinas realizadas con la pulpa y el mucilago de café</p> <p>7.9. Producción de gránulos y briqueta</p> <p>7.10. Infusiones</p> <p>7.11. Antioxidantes</p> <p>7.12. Cafeína</p> <p>7.13. Reutilización</p> <p>7.14. Ensilaje de la pulpa</p> <p>7.15. Alimentación para los animales</p> <p>7.16. Producción de biocombustibles a partir de los subproductos del café</p> <p>8. BENEFICIOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE POSCOSECHA DEL CAFÉ</p> <p>9. RESULTADOS</p> <p>10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</p> <p>11. REFERENCIAS</p>
Descripción del problema de investigación	<p>En Colombia el cultivo de café es uno de los más importantes para la economía del país, sin embargo este producto en la etapa de poscosecha (despulpado y lavado) genera residuos que incluyen el mucilago y la pulpa, los cuales constituyen un problema ambiental, debido a que los residuos se vierten a las fuentes hídricas, en otros casos se dejan descomponer en el suelo sin ningún control o manejo, produciendo problemas fitosanitarios y contaminación.</p> <p>El vertimiento y derramamiento de los residuos en zonas a cielo abierto, esparcidas en los terrenos y a las fuentes de agua, es la forma de manejo actual y frecuente que le realizan a estos residuos. Estas inadecuadas prácticas en el manejo provocan daños a los recursos naturales y pérdidas económicas a los productores.</p> <p>Los residuos de la poscosecha se pueden transformar en abono orgánico, o se utilizan para la producción de hongos comestibles, para la obtención de pectinas y de biocombustibles. Sin embargo los productores de café no tienen conocimientos de todos los aprovechamientos de estos residuos, además no conocen las prácticas para realizar la descomposición y formar productos con un alto valor agregado y valorizando los residuos del proceso. Debido a que la gran mayoría de los productores de café no ejecuta las prácticas para utilizar estos residuos generados del beneficio del café, se busca con la monografía determinar ¿cuáles son los métodos para la transformación de la pulpa y mucilago para obtener aprovechamientos de los residuos (productos resultantes) para lograr beneficios económicos y ambientales?</p>
Objetivo general	Identificar las estrategias y tendencias de aprovechamientos de los residuos de la fase del beneficio del café en Colombia.
Objetivos específicos	<ul style="list-style-type: none"> • Documentar una guía de estrategias y tendencias de aprovechamientos de los residuos de la fase del beneficio del café en Colombia. • Caracterizar los métodos y procedimientos para la transformación de los residuos (la pulpa y el mucilago) en productos valorizados. • Identificar los productos resultantes de los residuos (pulpa y mucilago) de la poscosecha del café • Determinar los beneficios económicos, sociales y ambientales del aprovechamiento de los residuos de poscosecha del café
Metodología	La monografía se realiza a través de la búsqueda de información bibliográfica de fuentes confiables

gía	acerca de los diferentes aprovechamientos que se obtienen de los residuos de poscosecha de café (pulpa y mucílago); con la investigación se determina los métodos de transformación y se establecen los productos que resultan y que son valorizados y beneficiosos socialmente, económicamente y ambientalmente.
Principales referentes teóricos y conceptuales	<p>Los dos principales subproductos del café durante el proceso de beneficio del fruto son la pulpa y el mucílago. Actualmente de los subproductos del café se puede generar energía renovables (bioetanol y biogas), alimentos para consumo humano (hongos), alimento para consumo animal (lombrices) y abono orgánico. Todos estos productos son muy importantes para el desarrollo y crecimiento de la caficultura. La cantidad de los residuos de pulpa y mucílago son considerables por lo tanto son unos elementos que sin ningún tratamiento ocasionan problemas en el ambiente y pérdidas a los productores de café. Al realizar una transformación a través de métodos y procedimientos y con ayuda de microorganismos se logra obtener diversos productos con buenas características que favorecen el desarrollo y sostenibilidad de la caficultura; algunos de estos son:</p> <p>Producción de abono orgánico: Rodríguez, et al. (2013) mencionan que el sistema tradicional se utiliza el manejo de la pulpa ha sido la descomposición en fosas, que son construcciones en las cuales ocurre la transformación de la pulpa en compost, para lo cual requiere de operaciones de manejo, que radican en volteos periódicos de la masa, que se deben efectuar cada 15 días, para lograr su transformación en 4 meses.</p> <p>La fosa - procesador de materia orgánica. Según Botero y Sánchez (2012) tradicionalmente, la pulpa se ha manejado depositándola en procesadores o fosa de materia orgánica, las cuales son construcciones techadas con guadua, en las cuales se realiza el proceso de descomposición de la pulpa y se transforma en un material de excelente calidad que se emplee en el predio como abono orgánico para almácigos, lotes o se comercialice como compostaje.</p> <p>Moreno y Romero (2016) afirman que el compost de pulpa es un material de consistencia arcillosa, rico en nitrógeno, fósforo y potasio, con excelentes propiedades acondicionadoras del suelo, conformada entre otros por minerales y una amplia variedad de microorganismos que representa un papel importante para el desarrollo de las plantas. A lo anterior debe sumarse que los fertilizantes presentes en este tipo de abono orgánico se van disponiendo lentamente en el suelo, lo que permite aumentar su aprovechamiento mejorando las propiedades físicas del suelo.</p> <p>El lombricultivo: Botero y Betancur (2012) aseguran que la lombricultura es el cultivo intensivo de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en residuos orgánicos, para obtener humus; al emplear pulpa de café se logra disminuir el tiempo de descomposición de este material, permitiendo: Reducción de la contaminación. No se desprenden olores desagradables en el proceso ni se descarga en las corrientes de agua, las instalaciones son sencillas y requieren poca mano de obra, obteniendo humus para utilizar en la finca o comercializarlos.</p> <p>Ensilaje de la pulpa:</p> <p>Armas et al. (2008) mencionan que la pulpa como tal es prensada hasta obtener el 60 o 65% de humedad, se vacía en los silos construidos para este fin, luego se agrega de 3 a 5% de melaza de caña de azúcar con relación al peso de la pulpa vaciada. Los mejores resultados de ensilaje con la pulpa fresca al término de 72 horas de ensilaje.</p> <p>El mucílago</p> <p>Rodríguez, et al. (2013) afirman que el mucílago se puede utilizar para remojar la pulpa y así enriquecer su contenido de nutrientes para su posterior descomposición y utilización para fertilizar los almácigos y el café en producción. Además también es empleado como ingrediente de los purines o Jabones líquidos.</p> <p>Producción de biocombustibles: Rodríguez y Zambrano (2010) mencionan que se han realizado estudios de fermentación alcohólica de la pulpa fresca, utilizando levaduras comerciales, con promedios de rendimiento de 25,2 ml de etanol por 1,0 kg de pulpa fresca y 58,4 ml de etanol por 1.0 kg de mucílago fresco. Se estima que se pueden obtener 1,97 L de etanol de la pulpa y el mucílago provenientes del beneficio de 100 kg de café cereza, lo que representa en terminos energeticos 42 MJ.</p>
Resultados	<p>Al aprovechar y realizar una transformación de los residuos de la poscosecha del café (pulpa y mucílago) resultan diferentes productos beneficiosos para la agricultura y el ecosistema:</p> <p>Los productos obtenidos de la transformación de la pulpa son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abono orgánico: se obtienen a partir de la realización del compost, con la utilización de fosas y con lombricultivo. • Hongos comestibles y medicinales • Producción de gránulos y briquetas • Infusiones • Alimentación de animales: a través del ensilaje de la pulpa <p>Los productos a partir del mucílago del café son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pectina.

	<p>Los productos obtenidos de la pulpa y del mucilago del café son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biocombustibles: etanol y biogás.
Conclusiones	<p>Con la investigación bibliográfica se logró recopilar las estrategias y tendencias de aprovechamientos de los residuos de la fase del beneficio del café en Colombia, obteniendo información valiosa y de gran ayuda para mejorar el desarrollo de la caficultura en Colombia. Las estrategias para aprovechar los residuos son viables ya que son prácticas que pueden ser implementadas por los productores de café. Hay diversos métodos y procedimientos para la transformación de los residuos (la pulpa y el mucilago) cada uno de estos tiene sus ventajas y desventajas, además deben tener buenas prácticas en cada paso para lograr productos con buenas características que logren el correcto aprovechamiento. Todos los métodos logran la transformación de los residuos obteniendo productos que favorecen la agricultura, el ambiente y el desarrollo social de la región; también estos métodos tienen diferentes maneras, formas y recursos que son fáciles de utilizar, por lo tanto el caficultor puede ejecutarlos logrando el aprovechamiento y beneficio del producto obtenido.</p> <p>Los productos resultantes de los residuos de la poscosecha del café tienen buenas características que favorecen el desarrollo de la agricultura, facilita la producción de biocombustibles y tiene grandes usos en el campo y ventajas en los suelos. Los productos obtenidos son abonos orgánicos, compostajes, ensilaje de la pulpa para la alimentación de animales, biogás, bioetanol, producción de hongos comestibles, etc</p> <p>Al aprovechar los residuos de poscosecha del café se logra grandes beneficios económicos, sociales y ambientales. Al transformar y dar un buen uso a los residuos del café, se logra cultivos más productivos, crecimiento económico de la región, aumento en la mano de obra, disminución de los costos de producción, reducción de los daños del agua y el suelo.</p>